

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XII Международной научно-практической
конференции

27-29 мая 2021 года
Юрга

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
ЮРГИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XII Международной научно-практической конференции

27–29 мая 2021 г.

Томск 2021

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

И66

И66 Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов XII Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2021. – 166 с.

ISBN 978-5-4387-1000-4

Сборник содержит материалы XII Международной научно-практической конференции по современным проблемам инновационных технологий в сварочном производстве, машиностроении, металлургии, автоматизации производства и экономике.

Предназначен для преподавателей, научных сотрудников, аспирантов и студентов технических специальностей.

УДК 62.002:658(063)

ББК 34.4:65л0

Ответственный редактор

С.А. Солодский

Редакционная коллегия

М.А. Кузнецов

Д.А. Чинахов

Т.Ю. Чернышева

Е.В. Телипенко

А.Г. Мальчик

А.В. Проскоков

Н.А. Сапрыкина

Э.Ф. Кусова

ISBN 978-5-4387-1000-4

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ Юргинский
технологический институт (филиал), 2021

СОДЕРЖАНИЕ

**СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ
МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКОВ КОБАЛЬТ ХРОМА И МОЛИБДЕНА НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ	
<i>Сапрыкин Н.А., Сапрыкин А.А., Шаркеев Ю.П., Ибрагимов Е.А., Химич М.А.</i>	6
БЕСКОНТАКТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ДИСКОВ	
<i>Девойно О.Г., Луцкович З.М., Пилипчук А.П.</i>	9
ШЛИЦЕВАЯ ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ПРОТЯЖКА	
<i>Касенов А.Ж., Абишев К.К., Муканов Р.Б.</i>	11
НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНОКОМПОЗИТЫ СИСТЕМЫ Ti-AL МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ	
<i>Попов А.А., Ситников А.А., Яковлев В.И.</i>	14
ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ТИПА ТВЁРДЫХ ДОБАВОК В СПЛАВ AL-SN	
<i>Русин Н.М., Скоренцев А.Л.</i>	17
ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО И ВИБРОПЛАСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕТАЛЛЫ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ	
<i>Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Троицкий О.А.</i>	21
ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ВИБРАЦИОННОГО ОТКЛИКА НА ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛАХ	
<i>Троицкий О.А., Скворцов О.Б., Сташенко В.И.</i>	26
ВЛИЯНИЕ ТИПА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННОГО КОМПОЗИТА AL-0SN	
<i>Скоренцев А.Л., Русин Н.М.</i>	31
ВЛИЯНИЕ ТЕМПА НАГРЕВА НА ПРОЦЕСС ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА В СИСТЕМЕ Ti-AL-C	
<i>Собачкин А.В., Мясников А.Ю., Ситников А.А.</i>	35
ЛАЗЕРНОЕ ОПЛАВЛЕНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 0P6M5 И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗНОСА В ПАРЕ ТРЕНИЯ	
<i>Гнусов С.Ф., Федин Е.А.</i>	38
ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ УПЛОТНЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА	
<i>Теслев С.А., Теслева Е.П., Досумкулов Д.У.</i>	41

**СЕКЦИЯ 2: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ**

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ БРОНЗЫ, НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА	
<i>Хорошко Е.С., Филиппов А.В., Шамарин Н.Н.</i>	45
ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БИМЕТАЛЛА СТАЛЬ 45+P6M5, ПОЛУЧЕННОГО СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ	
<i>Пинаев В.Г.</i>	47
УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ НАГРЕВА И РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ СВАРКЕ	
<i>Скворцов О.Б., Сташенко В.И., Троицкий О.А.</i>	50
СВАРИВАЕМОСТЬ МАЛОПЛАСТИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ	
<i>Пинаев В.Г.</i>	55
ЭВОЛЮЦИЯ ИЗНАШИВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ M2	
<i>Гнусов С.Ф., Федин Е.А., Тарасов С.Ю.</i>	59

СОДЕРЖАНИЕ

ВЛИЯНИЕ ГРАФИТОВЫХ ПОЛЗУНКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 304L ПРИ MIG СВАРКЕ В СРЕДЕ АРГОНА <i>Акимов К.О., Дубровский А.С., Чинахов Д.А., Ильященко Д.П.</i>	62
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ <i>Ощепкова А.А., Мандров Б.И.</i>	65
АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ <i>Кузнецов М.А., Турсунов И.Ф.</i>	67

СЕКЦИЯ 3: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

НОВЫЕ МОДЕЛИ ПРИЛОЖЕНИЙ И ОБЛАЧНЫЕ СЛУЖБЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕИМУЩЕСТВ В БИЗНЕСЕ <i>Разумников С.В.</i>	72
ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМ АВТОТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ <i>Колегова О.А.</i>	77
ИНФОРМАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА ОПЕРАТИВНОГО РЕМОНТА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА <i>Котов В.С., Барсков В.В., Никифоров А.Е.</i>	80
РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTES <i>Котов В.С., Пакин И.И.</i>	85
РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTES <i>Котов В.С., Пакин И.И.</i>	89
РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НАНЕСЕНИЕМ ИНЕЯ ИЛИ ЖИДКОГО КОНДЕНСАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ВЛАГИ, СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В ВОЗДУХЕ <i>Бегляков В.Ю., Нестерук Д.Н., Казанцев А.А.</i>	93
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНФОРМАТИЗАЦИЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ <i>Епифанцев К.В.</i>	97
РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФАНДОМАНОВ <i>Епифанцев К.В., Иващенко С.</i>	100
АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ В КОТЕЛЬНОМ ЦЕХЕ ООО «ЮТЭЦ» <i>Телипенко Е.В., Матанский Е.И.</i>	105
СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ СЕРВИСОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАКАЗОВ И УСЛУГ <i>Чернышева Т.Ю., Скроботов А.А.</i>	111

СЕКЦИЯ 4: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОПЛЕНОК В ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ <i>Новикова А.Л.</i>	115
СТАРТОВОЕ УСТРОЙСТВО МОДУЛЯ ПРОХОДКИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, СФОРМИРОВАННОЕ ИЗ ГЕОСРЕДЫ <i>Коперчук А.В., Бегляков В.Ю., Осипов Р.С.</i>	117
ВЫБОР ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ <i>Скворцов О.Б.</i>	120

ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА МОЩНОГО РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ	
<i>Скворцов О.Б.</i>	126
АВИАЦИОННЫЕ СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА	
<i>Родионов П.В., Байзакова Ы.Д.</i>	131
ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ ПРИ ДТП С УЧАСТИЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА	
<i>Родионов П.В., Богомолов К.О.</i>	133
РЕШЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА СОЛНЕЧНЫЙ В ГОРОДЕ ТОМСК	
<i>Бычков О.А.</i>	137
СИСТЕМЫ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ	
<i>Деменкова Л.Г., Горборуков А.А.</i>	140
УПРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ	
<i>Деменкова Л.Г.</i>	143
СРАВНЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ И СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА NOVES 1230 НА ПРИМЕРЕ ВЕРТОЛЕТНОГО КОМПЛЕКСА КОРАБЛЯ	
<i>Кораблев Д.Д., Кривошеев А.А., Калинин Д.С.</i>	146
ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРИ РАБОТЕ РУЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ	
<i>Деменкова Л.Г., Кучумов В.О.</i>	150
КОНЦЕПЦИЯ VISION ZERO В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ	
<i>Медведников В.Б.</i>	152
ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ НА ДЕСТРУКЦИЮ МОТОРНОГО МАСЛА	
<i>Задорожная Т.А., Назаренко О.Б., Соловьев Н.Н.</i>	156
ХРАНЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ	
<i>Мальчик А.Г., Тицук А.А.</i>	159
МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ДОРОЖНО- ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ	
<i>Родионов П.В., Черная К.В., Байзакова Ы.Д.</i>	161

СЕКЦИЯ 1: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ СЕЛЕКТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ПЛАВЛЕНИЯ ПОРОШКОВ КОБАЛЬТА, ХРОМА И МОЛИБДЕНА НА ПОРИСТОСТЬ ОБРАЗЦОВ

*Н.А. Сапрыкина¹, к.т.н., доц., А.А. Сапрыкин^{1,а}, к.т.н., доц., Ю.П. Шаркеев², д.т.н., проф.,
Е.А. Ибрагимов¹, к.т.н., ст. препод., М.А. Химич², к.т.н.*

*¹Юргинский технологический институт (филиал) Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская область, г.Юрга, Ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-61*

*²Институт физики прочности и материаловедения
Сибирского отделения Российской академии наук
634055, Томская область, г. Томск, Академический пр., 2/4
e-mail: saprikina@tpu.ru^а*

Аннотация: Сплавы на основе кобальта обладают хорошей износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и усталостной прочностью. В работе определены оптимальные параметры режима селективного лазерного плавления (скорость сканирования $V = 450$ мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s= 100$ мкм, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм) для формирования образцов с меньшей пористостью из порошковой композиции 66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo смешанных механически. Наблюдается нелинейное изменение пористости.

Abstract: Cobalt-based alloys have good wear resistance, heat resistance, corrosion resistance and fatigue strength. The optimal parameters of the selective laser melting mode (scanning speed $V = 450$ mm/s, laser power $P=100$ W, scanning step $s= 100$ microns, the thickness of the powder layer was set at $h=30$ microns) for the formation of samples with lower porosity from a powder composition of 66 wt. % Co, 28 wt. % Cr, 6 wt. % Mo mixed mechanically. A nonlinear change in porosity is observed.

Ключевые слова: селективное лазерное плавление (SLM); кобальтовый сплав; аддитивное производство; пористость.

Keywords: selective laser melting (SLM); cobalt alloy; additive manufacturing; porosity.

Свобода проектирования процесса селективного лазерного плавления (СЛП) в порошковом слое позволяет гибко изготавливать геометрически сложные детали непосредственно из моделей САПР. Сплавы на основе кобальта обладают хорошей износостойкостью, жаропрочностью, коррозионной стойкостью и усталостной прочностью. Это позволяет широко использовать сплавы для изготовления изделий, предназначенных для работы при высоких температурах и в агрессивной среде. Селективное лазерное плавление это процесс послойного изготовления твердотельных трехмерных деталей любой геометрической сложности с помощью лазера путем сканирования слоя порошка в соответствии с компьютерной моделью проектирования [1].

Процесс изготовления детали влияет на ее механические свойства. Способы получения изделий из сплавов на основе кобальта включают литье, резание и ковку, которые обычно трудно выполнить из-за высокой температуры плавления, твердости и ограниченной пластичности материала [2]. Кроме того, при литье образуется крупное зерно и металлургические дефекты, которые приводят к ухудшению механических свойств. Технология селективного лазерного плавления является перспективной для производства геометрически сложных деталей непосредственно из моделей САПР с точки зрения стоимости, улучшенной повторяемости по сравнению с традиционными производственными процессами. Так же СЛП позволяет изготавливать сплав с уникальной структурой, фазовым составом и комплексом физико-механических свойств, которые сложно получить традиционными способами изготовления [3].

Целью данной работы является определение оптимальных параметров режима селективного лазерного плавления для формирования малопористых образцов из порошков кобальта, хрома и молибдена смешанных механически.

Для получения сплава системы Co-Cr-Mo методом селективного лазерного плавления взят порошок производства АО «Полема» (г. Тула) [4] кобальта, хрома и молибдена (66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo). Порошки имеют форму, близкую к сферической, размер частиц 20-70 мкм. Исходный материал в указанной пропорции был помещен в емкость и подвержен механическому перемешиванию в течение 15 мин. Эксперименты по созданию образцов проведены на установке ВАРИСКАФ-100МВС в инертной среде аргона. Основываясь на предыдущих исследованиях и понимании технологии СЛП, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм, параметры лазера варьировались (скорость сканирования $V=(50 - 90)$ мм/с, (300-400) мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s= 100$ мкм), режим лазера импульсный $m=5000$ Гц. Данные интервалы были выбраны для предотвращения эффекта испарения или недостаточного плавления и для обеспече-

ния быстрого изготовления образцов [5, 6]. Схема перемещения луча лазера построчная по областям с направлением штриховки взаимоперпендикулярно от слоя к слою. Были изготовлены образцы квадратной формы со стороной 10 мм, содержащие 15 слоев. Когда скорость сканирования лежит в диапазоне 50-90 мм/с наблюдается коробление поверхности образцов, возникают трещины вследствие высоких термических напряжений [7, 8]. Увеличение скорости до 300-400 мм/с приводит к уменьшению напряжения. Затем была проведена оптимизация параметров селективного лазерного плавления для получения образцов с меньшей пористостью и небольшими термическими напряжениями [9, 10, 11]. Далее представлены снимки, выполненные в трех разных местах каждого образца, рис. 1.

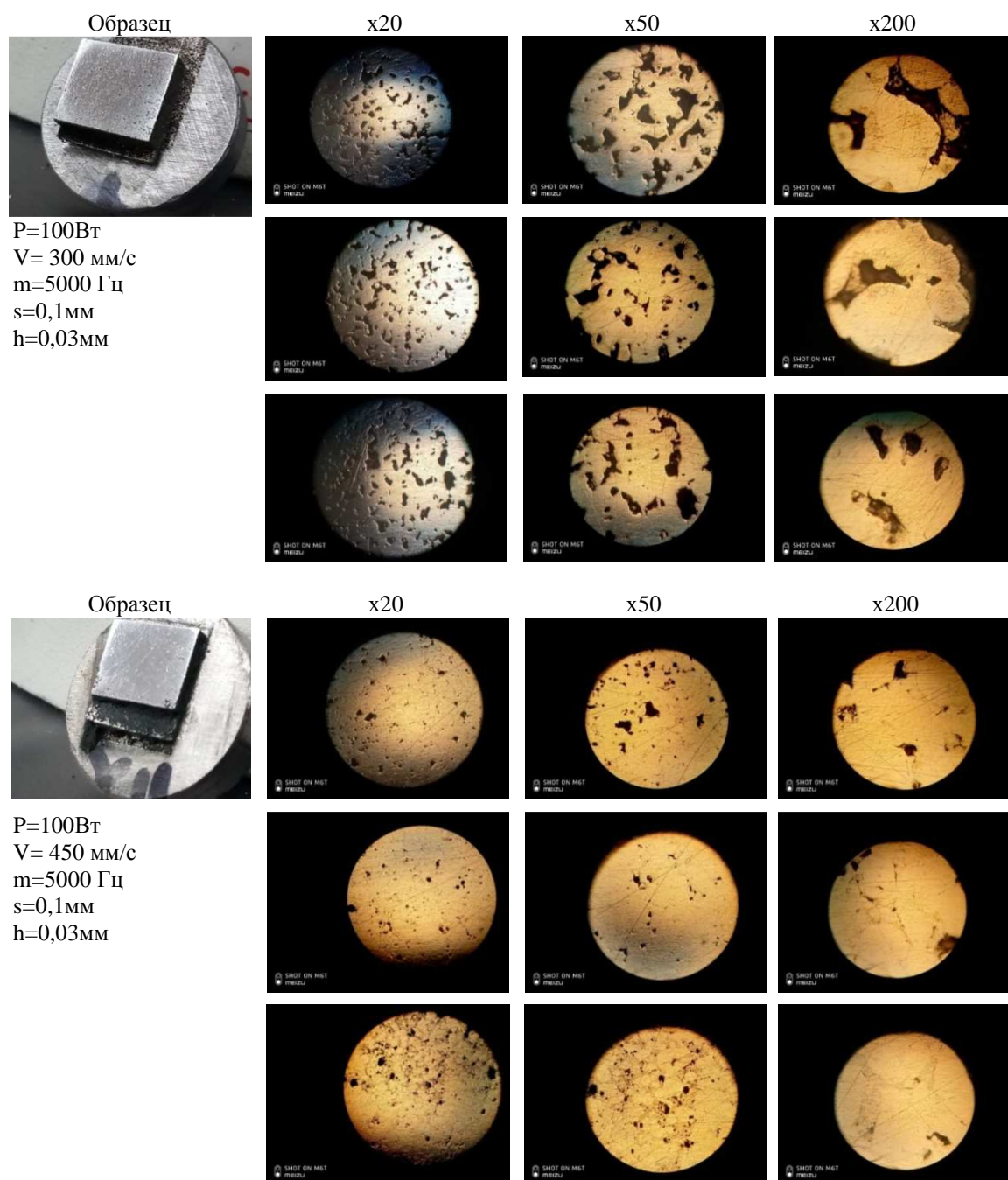


Рис. 1. Фотографии структуры образцов, полученных методом СЛП

По оптическим изображениям, снятым со шлифов поверхностей полученных образцов, видно, что на данных режимах при увеличении скорости сканирования достигается наименьшая объемная пористость, значение которой уменьшается нелинейно. Пористость рассчитывалась на основе данных, полученных из оптических изображений шлифов. Ее минимальное значение достигается при скорости сканирования 450 мм/с.

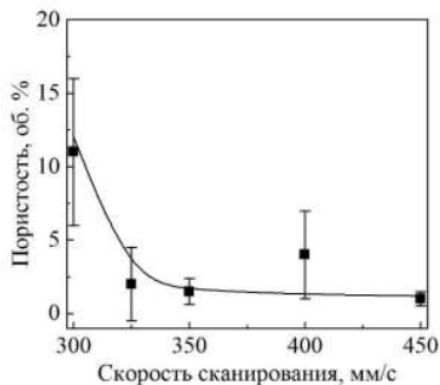


Рис. 2. Влияние скорости сканирования на пористость, формируемую в объемных образцах

Однако, следует отметить, что при увеличении скорости сканирования выше 350 мм/с на оптических изображениях шлифов поверхности полученных образцов отчетливо видны «непроплавы». Вероятнее всего это связано с уменьшением удельной тепловой энергии при увеличении скорости сканирования, что приводит к частичному переплаву порошка.

В работе определены оптимальные параметры режима селективного лазерного плавления (скорость сканирования $V = 450$ мм/с, мощность лазера $P=100$ Вт, шаг сканирования $s=100$ мкм, толщина слоя порошка была установлена на уровне $h=30$ мкм) для формирования образцов с меньшей пористостью из порошковой композиции 66 мас. % Co, 28 мас. % Cr, 6 мас. % Mo смешанных механически. Наблюдается нелинейное изменение пористости.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Томской области в рамках научного проекта № 19-48-700022 p_a»

Список используемых источников:

1. T. Mukherjee, J.S. Zuback, A. De, T. DebRoy Printability of alloys for additive manufacturing Nature Sci Rep, 6 (2016), p. 19717
2. L. Hitzler, F. Alifui-Segbaya, P. Williams, B. Heine, M. Heitzmann, W. Hall, et al. Additive manufacturing of cobalt-based dental alloys: analysis of microstructure and physicomechanical properties Adv Mater Sci Eng, 2018 (2018), p. 8213023
3. K.M. Mantrala, M. Das, V.K. Balla, C.S. Rao, V.V.S. Kesava Rao Additive manufacturing of Co-Cr-Mo alloy: influence of heat treatment on microstructure, tribological, and electrochemical properties Front Mech Eng, 1 (2015), p. 2
4. Yu. P. Sharkeev, A. Yu. Eroshenko, Zh. G. Kovalevskaya, A. A. Saprykin, E. A. Ibragimov, I. A. Glukhov, M. A. Chimich, P. V. Uvarin, E. V. Babakova, Phase Composition and Microstructure of Ti-Nb Alloy Produced by Selective Laser Melting, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2016, 140(1), 012020.
5. A. A. Saprykin, Yu. P. Sharkeev, E. A. Ibragimov, E. V. Babakova, Zh. G. Kovalevskaya, A. Yu. Eroshenko, M. A. Khimich, P. V. Uvarin, I. A. Glukhov, Synthesizing conditions and structural-phase state of Ti-Nb alloy when selective laser melting ECCM 2016, Proceeding of the 17th European Conference on Composite Materials, 2016.
6. A. A. Saprykin, N. A. Saprykina, D. V. Dudikhin, S. M. Emelyanenko, Influence of layer-by-layer laser sintering modes on the thickness of sintered layer of cobalt-chromium-molybdenum powder, Advanced Materials Research, 2014, 1040, pp. 805-808.
7. Н.А. Сапрыкина, А.А. Сапрыкин, Влияние условий послойного лазерного спекания на качество спеченного поверхностного слоя из кобальтхроммолибденового порошка, Актуальные проблемы в машиностроении: материалы первой Международной научно-практической конференции, Новосибирск, 26 Марта 2014. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014 - С. 119-123 [433004-2014]
8. X. Zhou, K. Li, D. Zhang, X. Liu, J. Ma, W. Liu, Z. Shen, Textures formed in a CoCrMo alloy by selective laser melting, J. Alloys Compd, 2015, 631, pp. 153-164.
9. A. Takaichi, Suyalatu, T. Nakamoto, N. Joko, N. Nomura, Y. Tsutsumi, S. Migita, H. Doi, S. Kurosu, A. Chiba, N. Wakabayashi, Y. Igarashi, T. Hanawa, Microstructures and mechanical properties of Co-

- 29Cr-6Mo alloy fabricated by selective laser melting process for dental applications, J. Mech. Behav. Biomed. Mater., 2013, 21, pp. 67-76.
10. M. Zhang, Y. Yang, C. Song, Y. Bai, Z. Xiao, An investigation into the aging behavior of CoCrMo alloys fabricated by selective laser melting, J. Alloys Compd., 2018, 750, 878–886.

БЕСКОНТАКТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ДЕФОРМАЦИЯ ДИСКОВ

О.Г. Девойно¹, д.т.н., проф., З.М. Луцкович¹, студент, А. П. Пилипчук^{2,а}, к.т.н., доц.

¹Белорусский национальный технический университет,

²20013, г. Минск, пр. Независимости, 65 Республика Беларусь.

2 Военная академия Республики Беларусь

²20057, г. Минск, пр. Независимости, 220, Республика Беларусь

^аE-mail: vikmech@mail.ru

Аннотация: В работе обоснована необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке. При лазерном нагреве возникают окружные напряжения, превышающие предел текучести. Представлен результат эксперимента по бесконтактной лазерной деформации стального диска.

Abstract: The article substantiates the need to study and identify the regularities of the process of formation of the stress-strain state during laser processing. During laser heating, circumferential stresses arise that exceed the yield point. The result of an experiment on non-contact laser deformation of a steel disk is presented. Ключевые слова: лазерная обработка, температурные напряжения, остаточные напряжения.

Keywords: laser processing, temperature stresses, residual stresses.

Ключевые слова: лазерная обработка, температурные напряжения, остаточные напряжения.

В настоящее время перспективным направлением лазерной технологии является бесконтактное деформирование (Laser beam forming/LBF) деталей в результате локального поверхностного нагрева [1 – 4]. При лазерной обработке в поверхностном слое в результате неравномерного нагрева, высоких скоростей охлаждения зоны обработки и изменений объемов материала вследствие температурного расширения возникают остаточные напряжения. Остаточные напряжения достигают значительных величин и в сумме с действующим внешним напряжением формируют результирующее напряженное состояние, являясь причиной образования трещин [5]. В работах [2,3] обоснована целесообразность создания в металлических материалах на определенных участках областей остаточных напряжений, равных по величине и противоположных по знаку напряжениям, которые возникают на этих участках при действии эксплуатационных нагрузок. Реализация данного подхода позволяет повысить жесткость или величину допустимых нагрузок, снизить материалоемкость изделия. Для создания зон с требуемым уровнем остаточных напряжений используется локальный лазерный нагрев, в том числе и с изменением химического состава материала. Управлять величиной, знаком и характером распределения остаточных напряжений можно, изменяя режимы облучения (импульсный, непрерывный, мощность, время), топографию размещения зон нагрева, применяя различные материалы. По сути появляется возможность с помощью лазерного облучения создавать в металлических материалах структурные ребра жесткости.

Отмеченные обстоятельства определяют необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке. Эффективным способом исследования процесса формирования остаточных напряжений в настоящее время является математическое моделирование на основе решения задач теории упругости и пластичности. Выбор в качестве объекта исследования диска определяется тем, что при решении задачи о расчете пластин с прямоугольным очертанием контура прогибы и напряжения определяются в функции не одного, а двух независимых переменных. Под воздействием неоднородного температурного поля в теле возникают радиальные и окружные напряжения (рис. 1). На основе известных методик [6,7] для двух вариантов температурного поля (рис. 2) выполнен расчет радиальных и окружных напряжений (рис. 5,6), возникающих при нагреве диска.

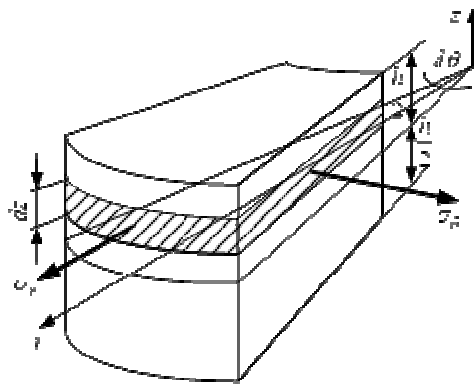


Рис. 1. Напряжения в элементе круглой пластины

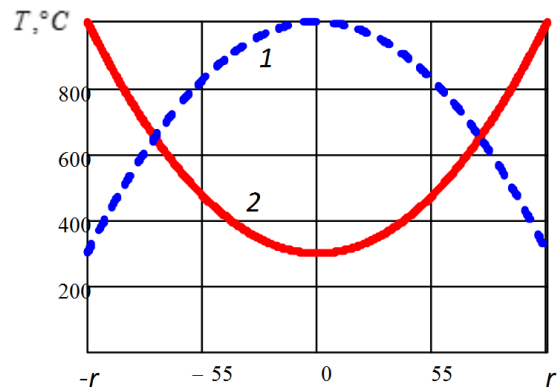


Рис. 2. Расчетные варианты распределения температуры

Результаты расчетов показывают, что на этапе нагрева в образцах возникают окружные напряжения, превышающие предел текучести для среднеуглеродистых сталей. Таким образом, возможно возникновение пластических деформаций.

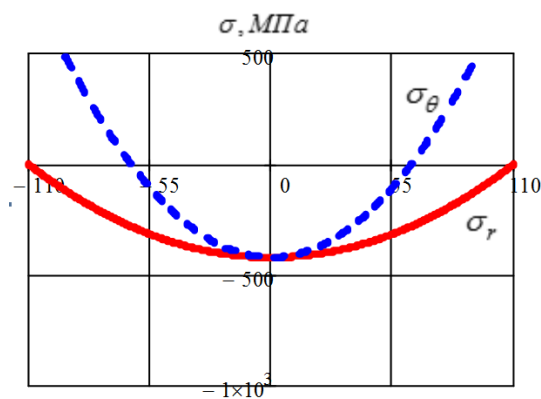


Рис. 3. Распределение напряжений для 1 распределения температуры

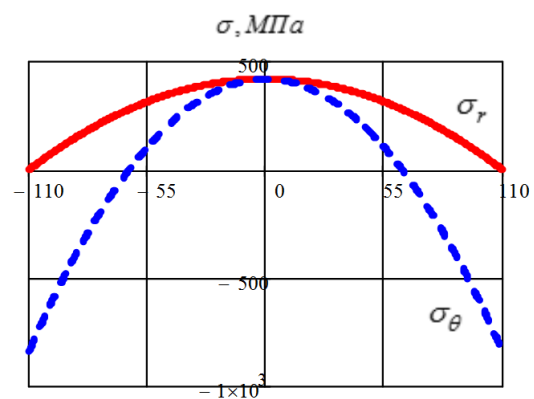


Рис. 4. Распределение напряжений для 2 распределения температуры

Полученные результаты получили подтверждение при выполнении эксперимента по бесконтактной лазерной деформации образца из стали 65Г толщиной 6 мм и диаметром 220 мм. Деформация по внешнему контуру составила 3 мм (рис. 5). Данный подход можно рассматривать как способ формообразования, не требующий использования штампов.

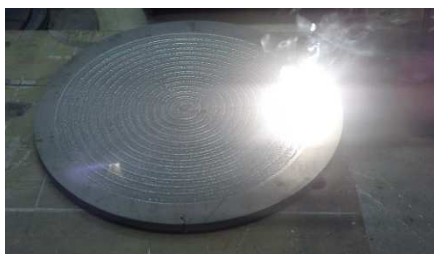


Рис. 5. Образец в процессе и после бесконтактной лазерной деформации

Бесконтактное деформирование деталей в результате локального поверхностного нагрева позволяет повысить жесткость, снизить материалоемкость изделия в результате создания в металлических материалах на определенных участках областей остаточных напряжений. Обоснована необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-

деформированного состояния при лазерной обработке. Результаты расчета температурных напряжений в стальном диске при осесимметричном нагреве показывают, что на этапе нагрева в образцах возникают окружные напряжения, превышающие предел текучести. Представлен результат эксперимента по бесконтактной лазерной деформации диска из стали 65Г толщиной 6 мм и диаметром 220мм. Деформация по внешнему контуру составила 3 мм.

Список используемых источников:

1. Лукьяненко, С.А., Михайлова, И.Ю. Методы моделирования температурного поля при бесконтактной лазерной деформации пластины / Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2014. – №1 (89). – С.182–187.
2. Лазерні технології та компютерне моделювання / Під. Ред. Л.Ф. Головка, С.О. Лукьяненка. – К.: Вистка, 2009. – 296 с.
3. Моделирование процесса бесконтактной лазерной деформации адаптивным методом / Л.Ф. Головка [и др.] // Электронное моделирование. – 2011. – №3. – С. 71–84.
4. Non-contact sheet forming using lasers applied to a high strength aluminum alloy / R. H. M. Siqueira, S. M. Carvalho, I. K. L. Kam, R. Riva, M. S. F. Lima // Journal of Materials Research and Technology. – 2016. – №5(3). – P.275–281
5. Григорьянц, А.Г. Основы лазерной обработки материалов / А.Г. Григорьянц. – М. Машиностроение, 1989. – 304 с.
6. Термопрочность деталей машин / И. А. Биргер [и др.]. М.: «Машиностроение», 1975. – 455 с.
7. Биргер И. А., Мавлютов Р. Р. Соппротивление материалов: Учебное пособие.— М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. – 560 с.

ШЛИЦЕВАЯ ДВУХСТУПЕНЧАТАЯ ПРОТЯЖКА

*А.Ж. Касенов, к.т.н., К.К. Абишев, к.т.н., Р.Б. Муканов, м.т.н., докторант
Торайгыров университет
140008, г. Павлодар ул. Ломова 64, тел. (7182)-67-36-33
e-mail: asylbek_kasenov@mail.ru*

Аннотация: В статье приведена конструкция шлицевой двухступенчатой протяжки с прямобочным профилем шлицев одинарного резания с периферийным и боковым резанием, где первая ступень – это уменьшенная ширина режущего выступа зуба позволяет увеличить подачу на зуб соответственно до значения подач при прогрессивной схеме резания на первой ступени. Вторая ступень по схеме срезания стружки более подобна генераторной схеме резания, при которой подачи на зуб также увеличенные.

Применение позволяет уменьшить число режущих зубьев, длину, расход инструментального материала и повысить экономическую эффективность.

Abstract: The article presents the design of a two-stage spline broach with a straight-line profile of single-cut slots with peripheral and lateral cutting, where the first stage is a reduced width of the cutting protrusion of the tooth allows you to increase the feed per tooth, respectively, to the feed value with a progressive cutting scheme at the first stage. The second stage according to the chip cutting scheme is more similar to the generator cutting scheme, in which the feed to the tooth is also increased.

The application allows you to reduce the number of cutting teeth, length, tool material consumption and increase economic efficiency.

Ключевые слова: шлицы, протяжка, стойкость, качество, эффективность, производительность.

Keywords: splines, broaching, durability, quality, efficiency, productivity.

Введение

Выполнение служебного назначения деталями машин и механизмов зависит от многих факторов: условий и срока эксплуатации, квалификации станочника, методов и технологии их изготовления. Большинство деталей машин имеют отверстия, в том числе со шпоночными пазами и шлицами, получаемые долблением, строганием или протягиванием. Последнее более производительнее и экономически оправдано в крупносерийном и массовом производствах.

Протягивание обеспечивает получение отверстий 6-7 квалитетов с шероховатостью поверхности по R_a не более $1,25 \div 0,32$ мкм и выполняется разными схемами резания: профильная; прогрессивная или переменного резания; генераторная (рисунок 1).

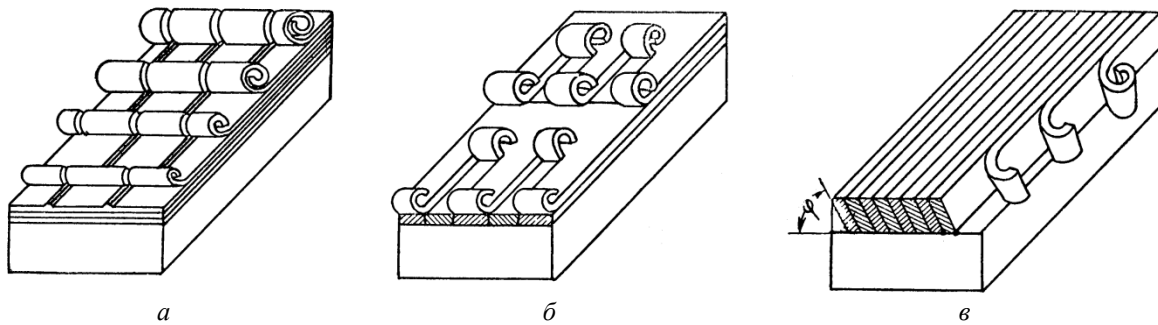


Рис. 1. Схемы резания при протягивании

Производительность и эффективность процесса протягивания основывается на большой длине режущих кромок и соответственно количеству одновременно участвующих в процессе резания зубьев за один рабочий ход [1-2].

При обработке отверстий протяжками с круглыми зубьями сила резания скачкообразно изменяется вследствие переменного количества одновременно работающих зубьев, шаг которых обычно не кратен длине обрабатываемой детали. В результате постоянно меняется НДС технологической системы и возникновение колебаний, которые уменьшают качество обработки (увеличивается шероховатость, отклонение от заданной геометрической формы отверстия) и снижается стойкость протяжки [3-7].

Результаты и обсуждение

На протяжении нескольких лет на кафедре машиностроения и стандартизации Торайгыров университета проводятся работы по проектированию и конструированию металлорежущих инструментов для улучшения условий резания [3-8].

Авторами [9] предлагается конструкция протяжки с винтовыми равноширокими зубьями с профильной схемой резания для обработки цилиндрических отверстий, которая позволяет повысить качество протягиваемых деталей и одновременно повысить стойкость между переточками самой протяжки и снизить затраты на её эксплуатацию и переточку.

Дальнейшее улучшение условий резания, шероховатости протянутого отверстия и использование прогрессивных конструкций позволило разработать конструкцию двухступенчатой прогрессивной протяжки для обработки цилиндрических отверстий [10], позволяющая увеличить производительность обработки, уменьшить усилия протягивания и вибрации, удельное давление на зубья протяжки, тем самым увеличивая стойкость протяжки и качество обработки цилиндрических отверстий.

На рисунке 2 показана авторская конструкция шлицевой двухступенчатой протяжки с прямобочным профилем шлицев одинарного резания с периферийным и боковым резанием, где цифрами обозначены: участок 1 - передняя направляющая; участок 2 - длина первой ступени режущей части протяжки с резанием периферией зуба (по наружному диаметру), размеры и форма режущих выступов, выполненных под наклоном τ , показаны в сечении А-А, где b_1 - начальная ширина режущих выступов, S_{z1} - подача на зуб на первой ступени, ширина зуба уменьшена с соответственным соотношением припусков на обработку для формирования наружного диаметра первой ступенью и ширины шлица второй ступенью, d_i - диаметр окружности впадин между шлицами, D_e - наружный диаметр шлицев; участок 3 - длина второй ступени, которая производит обработку боковых сторон шлицев, как показано в сечении Б-Б, где d_i - диаметр окружности впадин между шлицами, b_o - окончательная ширина шлицевого выступа, обработанной впадины, S_{z2} - подача на зуб на второй ступени; участок 4 - длина калибрующей части с шириной калибрующих зубьев b_k ; участок 5 - канавка между калибрующей и направляющей частями; участок 6 - задняя направляющая (сечение Г-Г).

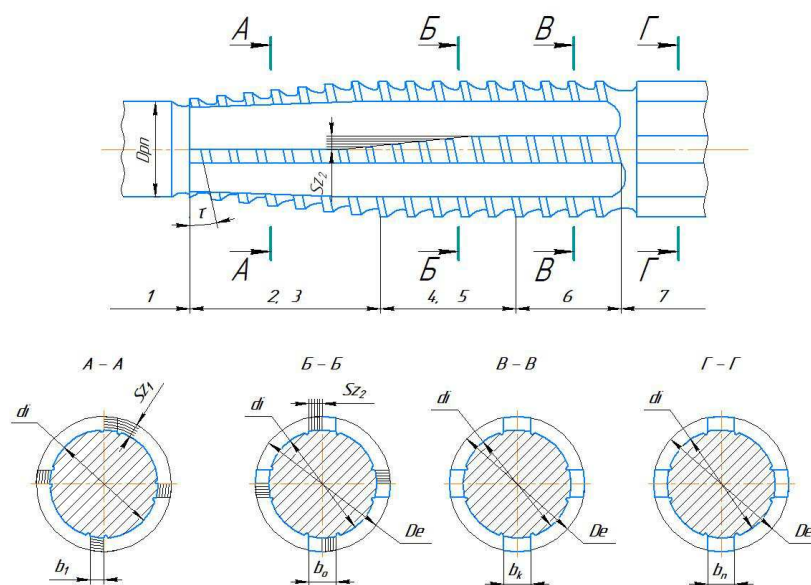


Рис. 2. Шлицевая двухступенчатая протяжка

Работа протяжкой осуществляется следующим образом, первая ступень режущей части прорекает более узкие канавки вдоль образующей цилиндрического отверстия, примерно равных половине высоты (ширины) шлицевых выступов. Вторая ступень режущей части расширяет полученные канавки до размера впадины между шлицами. Уменьшенная ширина режущего выступа зуба позволяет увеличить подачу на зуб соответственно до значения подач при прогрессивной схеме резания на первой ступени. Вторая ступень по схеме срезания стружки более подобна генераторной схеме резания, при которой подачи на зуб также увеличенные.

Выводы.

Таким образом, применение шлицевой двухступенчатой протяжки с прямобочным профилем шлицев одинарного резания с периферийным и боковым резанием позволяет уменьшить число режущих зубьев, длину, расход инструментального материала и повысить экономическую эффективность.

Исследования проводятся в рамках грантового финансирования молодых ученых на 2021-2023 годы по бюджетной программе 217 "Развитие науки", подпрограмме 102 "Грантовое финансирование научных исследований" ИРН АР09058231.

Список используемых источников:

1. Кацев П. Г. Обработка протягиванием. - М. : Машиностроение. 1986. - 272 с.
2. Скиженко В. Ф., Лемешонок В. Д., Цегельник В. П. Высокопроизводительное протягивание. - М.: Машиностроение, 1990. - 240 с.
3. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Тастенов Е.К., Исакова Д.А. Новые режущие инструменты для работы на токарных, расточных, сверлильных и протяжных станках для повышения качества обработки деталей // Наука и техника Казахстана. 2006. - № 2. - С. 5-9.
4. Дудак Н.С., Шерниязов М.А., Степаненко Б.М., Ворошцова С.А. Теоретические исследования вибраций при протягивании // Наука и техника Казахстана. 2002. - № 3. - С. 158 - 166.
5. Dudak N., Taskarina A., Kasenov A., Itybaeva G., Mussina Z., Abishev K., Mukanov R. Hole machining based on using an incisive built-up reamer. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing. 2017. - T. 18. - № 10. - С. 1425-1432.
6. Mukanov R. B., Kasenov, A.Z., Itybaeva G. T., Musina Zh. K., Abishev K., Bykov P. O. Face Turning of Holes // Russian Engineering Research, 2019. - Volume 39. - Issue 1 - PP. 75-78
7. Касенов А.Ж. Формирование шероховатости поверхности отверстия обработанного развёрткой-протяжкой. Наука и техника Казахстана. 2011. - № 3-4. - С. 46-49.
8. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К. Конструкции металлорежущих инструментов. В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов VII Международной научно-

- практической конференции // Юргинский технологический институт Томского политехнического университета. 2016. - С. 123-126.
9. Дудак Н.С., Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Касенов А.Ж., Таскарина А.Ж., Курмангалиев Т.Б. Конструкция протяжки профильной схемы резания с винтовыми равноширокими зубьями // Вестник ВКГТУ. - 2014. - № 1 - С. 25-30.
10. Итыбаева Г.Т., Мусина Ж.К., Таскарина А.Ж. Двухступенчатая прогрессивная протяжка для обработки цилиндрических отверстий // В сборнике: Инновационные технологии в машиностроении. Сборник трудов IX Международной научно-практической конференции. 2018. - С. 292-293.

НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЙ НА МЕХАНОКОМПОЗИТЫ СИСТЕМЫ Ti-AL МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО НАПЫЛЕНИЯ

А.А. Попова^{1,а}, к.т.н., доц., А.А. Ситников¹, д.т.н., проф., В.И. Яковлев, к.т.н., доц.

¹*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова*

656099, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. (3852)-29-08-79

^а*E-mail: anast_82@mail.ru*

Аннотация: в работе получены плакированные прекурсоры состава TiAl- SiO₂ методом магнетронного осаждения. Установлена корреляция между значениями толщины осаждаемой пленки на частицы механокомпозита и временем магнетронного напыления при постоянных значениях скорости. Определено, что рациональное время плакирования механокомпозитов системы Ti-Al, составляет 40 мин., в результате которого значение толщины осажденной пленки SiO₂ составляет 5,2 мкм.

Abstract: the investigations of (Ti + Al)-SiO₂ surfacing by magnetron deposition are presented in this article. The correlation between film's thickness deposited on the particles by mechanocomposites and magnetron sputtering time was established. It was determined that the rational time for surfacing by Ti-Al mechanocomposites system is about 40 minutes. According that deposition time the thickness of deposited SiO₂ films were obtained as 5.2 microns.

Ключевые слова: механокомпозиты, магнетронное напыление, алюминиды титана.

Keywords: mechanocomposites, magnetron sputtering, titanium aluminides.

Одним из наиболее перспективных направлений в области разработки новых металлических материалов с высоким уровнем жаростойкости и термической стабильности является создание интерметаллидных сплавов системы Ti-Al. Эти сплавы в ближайшем будущем могут составить серьезную конкуренцию суперсплавам на основе никеля, так как алюминиды титана более легкие, не требуют для легирования дорогостоящих и дефицитных элементов.

Современным направлением в порошковой металлургии является применение исходных порошков в виде микрокомпозитов с дополнительными компонентами - премиксами. Использование премиксов существенно влияет на формирование структуры и свойств готового продукта. Одним из проекционных способов получения качественных композитных материалов является использование в качестве исходного материала порошков с покрытием, нанесенным с помощью магнетронного напыления [1].

Магнетронное распыление - это метод ионной бомбардировки с участием магнитного поля, в результате чего освобожденные атомы из мишени осаждаются на подложку. Технология магнетронного напыления основана на действии диодного газового разряда в скрещенных полях. В процессе работы установки в плазме тлеющего заряда образуются ионы газа, которые воздействуют на распыляемое вещество. Основными элементами магнетронной системы являются: анод; катод; магнитный узел. Преимущества магнетронного метода: высокая производительность; точность химического состава осажденного вещества; равномерность покрытия; отсутствие термического воздействия на обрабатываемый материал [2].

Методы магнетронного распыления имеют большие перспективы промышленного применения благодаря сочетанию высокой скорости нанесения и хорошей адгезии наносимых покрытий с возможностью управления параметрами напыления за счет изменения потенциала смещения, давления и состава газовой среды, а также времени и интенсивности напыления.

Целью данной работы является - получить плакированные механокомпозиты состава: TiAl- SiO₂ магнетронным осаждением. Установить корреляцию между значениями толщины осаждаемой пленки на частицы механокомпозита и временем магнетронного напыления при постоянных значениях скорости.

В данной работе нанесение покрытий на порошковый механокомпозит Ti-Al проводилось на магнетронной установке напыления тонких пленок в вакууме «VSE-PVD-Power».

Вакуумная камера установки имеет двойные водоохлаждаемые стенки. Для предотвращения чрезмерного нагрева мишени SiO_2 во время бомбардировки ионами реализован механизм воздушно-водяного охлаждения держателя.

Время откачки рабочей камеры от атмосферного до рабочего – 1×10^{-5} Па – 30 минут. Расположение магнетрона - сверху вакуумной камеры на фланцах. Величина натекания газа в установку (без прогрева подложек) - 1×10^{-2} Па \times л/с. Откачка производится с помощью форвакуумного насоса ISP-250-SV «Anest Iwata», скорость откачки – 250 л/мин, и высоковакуумного турбомолекулярного насоса TMP-403LM «Shimadzu», скорость откачки - 400 л/с. Контроль давления осуществляется с помощью датчиков: форвакуумного - обеспечивает откачку до давлений $\sim 10^{-4}$ Торр и высоковакуумного - обеспечивает откачку до давлений $\sim 10^{-9}$ Торр, соединенные непосредственно с объемом камеры. Рабочим газом служит аргон. Подача аргона осуществляется из баллона через натекаль. Откачка камеры при этом частично прикрывается для получения необходимого давления.

Под распыляемой мишенью SiO_2 располагается вибропорошковая кювета, куда засыпается исследуемый материал (рисунок 1).

В эксперименте применялись 3 группы механокомпозитов состава $64\text{Ti} + 36\text{Al}$ (масс., %, ускорение работы шаровой мельницы, ед. g –40):

TiAl время механоактивации 3 мин

TiAl время механоактивации 7 мин

TiAl время механоактивации 10 мин.



Рис. 1. Вибропорошковая кювета, помещенная в камеру магнетронной установки «VSE-PVD-Power»

В данной экспериментальной установке реализован механизм движения кюветы от вибромеханизма. Частота вращения до 1000 об/мин. Это решение позволит добиться максимального перемешивания частиц порошка TiAl в процессе магнетронного напыления.

Напыление порошковых механокомпозитов состава TiAl проводилось по следующей схеме. Порошок размером 50-200 мкм взвешивается (50 г) и засыпается в виброкювету, кювета монтируется в камере магнетронной установки, камера закрывается на высоковакуумный затвор с пневматическим клапанами.

После каждого режима напыления производился замер толщины полученного покрытия на исследуемом материале. Замер толщины напыленного покрытия производился посредством прибора измерителя толщины и скорости напыления плёнок SQM-160.

В качестве объектов исследований использовались плакированные защитной оболочкой из SiO_2 механокомпозиты-прекурсоры состава $\text{Ti}+\text{Al}$.

Основными параметрами при расчете толщины напыленного покрытия являлись:

- мощность излучения ионов: 200 Вт;
- длительность опыта составила: 10 минут, 20 минут, 40 минут;
- максимальная толщина, которую требовалось напылить составляла: 5-6 мкм, так как при толщине магнетронной пленки более 10 мкм наблюдается растрескивание полученного покрытия [2-3];
- период отображения на графике значения толщины составил: 50 с.;
- скорость напыления $21,5 \text{ \AA}/\text{с}$;

Полученные результаты измерения толщины пленки от времени напыления представлены на рисунке 2.

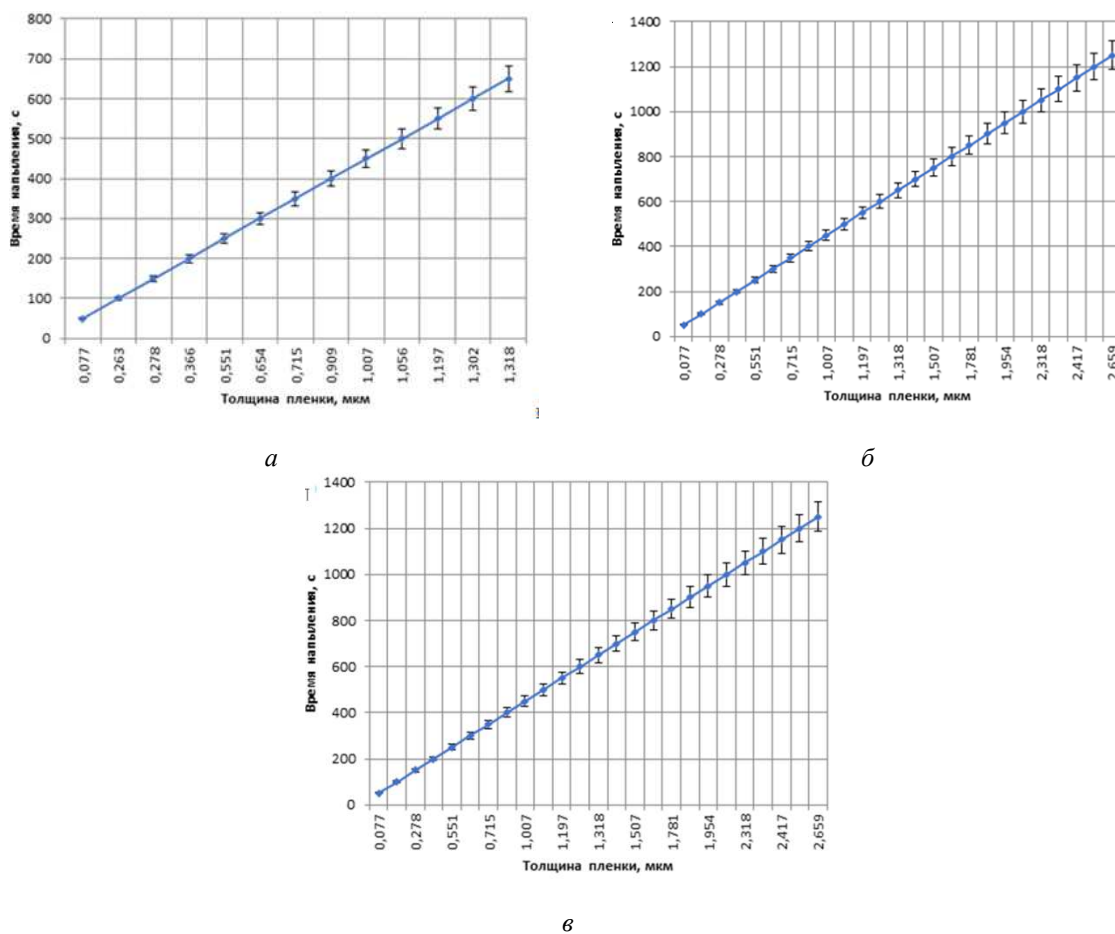


Рис.2. Зависимость толщины пленки SiO_2 на механокомпозите TiAl от времени напыления, время цикла: а – 10 минут; б – 20 минут; в – 40 минут

Зависимости толщины пленки SiO_2 на механокомпозите TiAl от времени напыления наглядно отображают увеличение значений толщины напыленной пленки от времени напыления при постоянных значениях скорости, а значит и мощности ионизированного потока в вакууме. При 10 минутах осаждения получены прекурсоры SiO_2 на механокомпозите TiAl толщиной 1,3 мкм, при 20 минутах - 2,6 мкм, при 40 минутах - 5,2 мкм.

Выводы

1. Получены плакированные механокомпозиты состава: $\text{TiAl}-\text{SiO}_2$ магнетронным осаждением.

2. Выявлена линейная зависимость значений толщины осажденной пленки SiO_2 на механокомпозит состава TiAl от времени магнетронного напыления при постоянных значениях скорости.
3. Определено рациональное время плакирования механокомпозитов состава TiAl – 40 минут, в результате которого толщина осажденной пленки SiO_2 составляет 5,2 мкм.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Задание № ФЗММ-2020-0002).

Список используемых источников:

1. Рогов, А.В. Факторы, определяющие эффективность магнетронного распыления. Критерии оптимизации [Текст] / А.В. Рогов, Ю.В. Капустин, Ю.В. Мартыненко // ЖТФ. - 2015. - Том 85, вып. 2. - С. 126 - 134.
2. Каменева, А.Л., Зависимость морфологии, свойств, теплового и напряженного состояния пленок от технологических параметров магнетронного распыления [Текст] / А.Л. Каменева, Н.И. Сушенцов, А. Клочков // Технология металлов. - 2010. - № 11. С. 38-42.
3. Каменева, А.Л., Эволюция представлений о структурных зонах пленок, формируемых методами вакуумных технологий [Текст] / А.Л. Каменева // Известия высших учебных заведений. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. - 2011. - № 4. С. 41-48.

Триботехнический эффект типа твёрдых добавок в сплав Al-Sn

Н.М. Русин^а, к.т.н., с.н.с., А.Л. Скоренцев^б, к.т.н., н.с.

Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук

634021, г. Томск, пр. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-62

E-mail: ^аrusinnm@mail.ru; ^бskoralexan@mail.ru

Аннотация: В работе исследовано влияние твердых добавок на трибо-механические свойства спеченного антифрикционного композита Al-Sn , содержащего большое количество мягкой оловянной фазы. Установлено, что добавление частиц кремния или алюминидов железа в исследуемый композит улучшает его механические свойства, а также износостойкость при сухом трении по стали. Для повышения износостойкости таких материалов следует минимизировать число адгезионных границ между оловянными частицами и твёрдыми добавками.

Abstract: An effect of hard additives on the tribo-mechanical properties of a sintered antifriction Al-Sn composite containing a large amount of soft tin phase was investigated. It was found that the addition of silicon or iron aluminides particles in the investigated composite improves its mechanical properties and wear resistance under dry friction against steel. In order to increase the wear resistance of such materials, the number of the adhesive boundaries between tin particles and hard additives should be minimized.

Ключевые слова: алюминиевые композиты, жидкофазное спекание, сухое трение, интенсивность изнашивания.

Keyword: aluminum-based composites, liquid phase sintering, dry friction, wear intensity.

Введение. Добавки олова в алюминий снижают интенсивность его адгезионного изнашивания при сухом и граничном трении за счёт повышения давления схватывания [1]. Однако концентрацию вводимого олова вынуждено ограничивают, поскольку при этом снижаются не только прочность и твёрдость сплава, но и его технологичность из-за преждевременной локализации пластического течения в образующей оловом межзёрненной сетке [2]. С целью повышения несущей способности и износостойкости сплавов Al-Sn можно вводить частицы или волокна различных твёрдых веществ [3], но жидкое олово, как правило, плохо их смачивает, и при кристаллизации образует с ними слабые адгезионные границы.

В принципе, в качестве твёрдой антизадирной смазки алюминия можно использовать, например, графит, сульфидные соединения и другие вещества с низким сопротивлением сдвигу [4]. К сожалению, такие вещества трудно совместимы с алюминием – он их плохо смачивает, а если удастся улучшить их смачиваемость, то на границе фаз возникают слои из хрупких продуктов взаимодействия, снижающие механические свойства композитов.

По указанным причинам при создании композитов гибридного состава объёмную долю твёрдых и мягких фаз вынужденно ограничивают, что не позволяет им проявить свои антифрикционные свойства в полной мере. Поэтому поиск совместимых веществ, совместное добавление которых в алюминиевую матрицу улучшит её триботехнические свойства, ведётся постоянно.

Например, твёрдые алюминиды предельного состава частично растворимы в алюминии, поэтому хорошо им смачиваются, но не образуют промежуточных хрупких фаз. То же можно сказать и о кремнии. Поэтому добавки данных веществ не вызывают катастрофического снижения технологических свойств алюминия и могут быть внесены в матрицу в больших количествах [5, 6]. Алюминиды также могут частично растворяться при повышенных температурах в олове и, следовательно, хорошо им смачиваются. Другое дело, что равномерно разместить большое количество твёрдых частиц в объёме отливки затруднительно из-за резкого повышения вязкости расплава. Эту проблему можно решить, если использовать при получении композиционных материалов (КМ) методы порошковой металлургии, позволяющей равномерно распределить ингредиенты сплава ещё на стадии формирования смеси [7].

Целью настоящей работы являлась проверка эффективности добавок твёрдых частиц алюминидов и кремния в композит Al-Sn, содержащий большое количество олова.

Материалы и методика эксперимента. Для получения композитов гибридного состава были приготовлены 2 порошковые смеси. Одну составляли порошки олова в количестве 40% по весу и распылённые в инертной атмосфере порошки силумина Al-12Si, далее – (КМ40-12). Другая смесь, обозначенная как КМ40-7, содержала тоже количество порошков олова марки ПО 2, но вместо силумина к ним были добавлены порошки элементарного железа марки ПЖ-4 (7%) и порошки элементарного алюминия марки АСД-4. Прессовки из смесей спекались в вакуумной печи при остаточном давлении газов не выше 10-2 Па, а выдержка при заданной температуре составляла 1 час. Спечённые образцы подвергались доуплотнению в закрытой пресс-форме при 250 °С и давлении около 300 МПа.

Из полученных заготовок вырезались образцы прямоугольной формы для испытаний на сжатие и износостойкость при сухом трении. Механические испытания проводили на машине Walter+ Bai AG LFM-125 со скоростью осадки 0,5 мм/мин. Тест на трибологические свойства проводили по схеме «палец-диск» на триботестере «Tribotechnic» (France), имеющей встроенный компьютер для расчёта скорости скольжения и величины коэффициента трения. Образцы были прямоугольной формы с торцевой поверхностью трения 2х2 мм. В качестве контртела использовался диск диаметром 50 мм, изготовленный из малоуглеродистой стали, закалённой до твёрдости 47-50 HRC. Путь трения для всех испытаний составлял 1000 м.

Шлифы для металлографических исследований готовили по обычной методике, контрастное травление их поверхности осуществляли в 4-х процентном спиртовом растворе азотной кислоты. Исследование структуры осуществляли с помощью предоставленных ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН (ЦКП ТНЦ СО РАН) оптического AXIOVERT-200MAT (Zeiss, Германия) и сканирующего электронного LEO EVO 50 (Карл Цейс, Германия) микроскопов.

Результаты и их обсуждение. На рис. 1 приведена структура спечённых при 570 °С КМ40-12 и КМ40-7. Видно, что в результате спекания порошки силумина подверглись перекристаллизации через жидкую оловянную фазу. В результате частицы кремния (серого цвета) из объёма порошинок перешли на межзёрненные границы и оказались частично окружёнными находящейся здесь оловянной фазой (рис.1а). В случае смеси КМ40-7 олово также образовывало с алюминием низкотемпературную эвтектику, расплав которой распространялся по поверхности порошинок алюминия. Достигнув частиц железа, жидкость хорошо их смачивает и обволакивает. Эта жидкость эвтектического состава является поверхностно-активной по отношению к частицам железа. Проникая по границам зёрен, она разваливает порошинки на мелкие фрагменты и облегчает взаимодействие их с алюминием, содержащимся в расплаве. В результате на месте частиц железа образуются кластеры из мелких алюминидов железа (серого цвета), разделённых оловянными прослойками (рис.1б).

Алюминий с кремнием образуют эвтектику с температурой плавления 577 °С, и во избежание потери прессовкой заданной формы из-за большого количества жидкой фазы нагревать смесь КМ40-12 при спекании выше данной температуры нельзя. Поэтому устранение остаточной пористости в образцах возможно только за счёт их механического уплотнения. В смеси КМ40-7 образуется большое количество мелких тугоплавких частиц, способных сохранить форму прессовки даже при расплавлении алюминиевой матрицы. Это позволило нагревать спекаемую смесь до 710 °С, но даже в этом случае от остаточной пористости не удалось избавиться, и спечённые образцы также подвергались доуплотнению в закрытой пресс-форме.

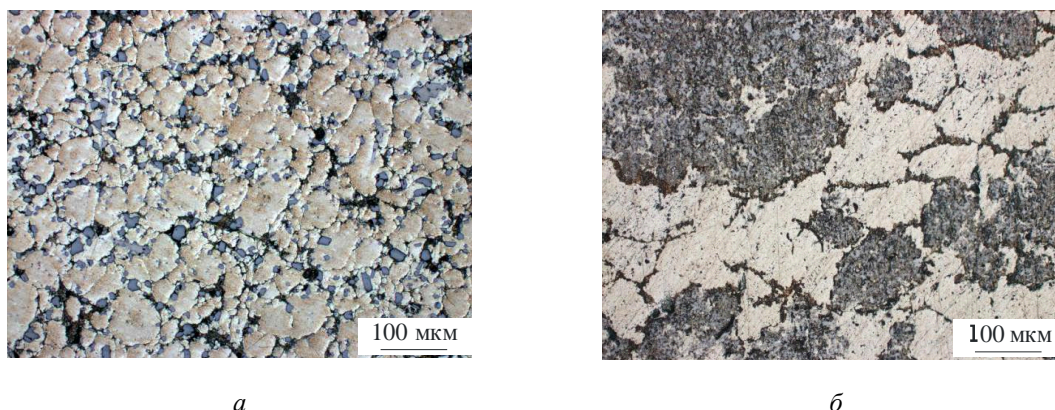


Рис. 1. Микроструктура спечённых при 570 °C в течение часа KM40-12 (а) и KM40-7 (б)

Пластичность образцов после такой обработки давлением значительно возросла, и они приобрели возможность к большему деформационному упрочнению, как это следует из Табл. 1. В результате прочность композитов была выше, чем у полученного также спеканием KM Al-40Sn. Максимальная прочность KM40-7 была выше, чем у остальных композитов из-за большей объёмной доли твёрдых частиц, которые при сжатии образца могли упираться друг в друга. Однако оловянное их окружение не позволяло сохраняться таким контактам длительное время, и смещение частиц сопровождалось уменьшением действующего напряжения. В любом случае легирование сплава Al-Sn способствовало существенному его упрочнению.

Таблица 1

Результаты трибо-механических испытаний спечённых образцов (Al-Me)-40Sn
после допрессовки (ГП) при 250 °C. Скорость скольжения – 0,6 м/с

Состав КМ	Тип обработки	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	Интенсивность изнашивания, мкм/м		
				1 МПа	3 МПа	5 МПа
(Al-12Si)-40Sn	570 °C+ГП	91	117	0,12	0,16	0,20
Al-40Sn	600 °C+ГП	58	85	0,13	0,20	0,25
Al-7Fe-40Sn	710 °C+ГП	102	122	0,12	0,17	0,22

На рис. 2 показана поверхность трения композиционных образцов с кремнием и железом. Видно, что у композита с кремнием она испытывала некоторую сдвиговую деформацию, и с задней её стороны образовался заусенец (рис. 2а). Пластический сдвиг приводит к утонению зёрен в деформируемом верхнем слое и их отслоению в виде частиц износа. На месте отслоившихся зёрен остаются углубления. То есть, несущая поверхность образца сокращается. В режиме стационарного трения устанавливается динамическое равновесие между площадью, занимаемой углублениями и площадью цельной поверхности. Отслоившиеся зёрна дополнительно разрушаются между трущимися контртелами, и некоторая их часть переносится на поверхность дорожки трения, образуя неровности, которые собственно и деформируют поверхность образца (рис. 3). Видно, что оставляемые ими канавки неглубокие и имеют пологие края. Следов схватывания на дне канавок не наблюдается (рис. 2б).

Изнашивание поверхности образцов KM40-7 осуществляется аналогично, как можно видеть на рис. 2в, г. Из их сравнения следует, что если спечённый образец не подвергать допрессовке, то частицы износа образуются при меньшей испытанной поверхностным слоем деформации. Соответственно, ямки на месте образующихся частиц износа глубже (рис. 2в).

В процессе деформации верхний слой композиционных образцов с твёрдыми частицами упрочняется сильнее, чем у двухфазного композита Al-40Sn (Табл. 1). Глубина вдавливания неровностей дорожки трения уменьшается, и интенсивность пластического сдвига, а с ним и изнашивания композитов, снижается. Из приведённых в Табл. 1 данных, видно, что добавки и кремния и железа способствуют повышению износостойкости базового композита Al-40Sn. Причём легирование кремнием оказывается более эффективным, чем железом, несмотря на большую твёрдость KM40-7. Это обусловлено тем, что твёрдые частицы алюминидов располагаются в форме

кластеров в окружении оловянной фазы, которая не упрочняется и удерживает твёрдые частицы не так прочно, как алюминиевая матрица. Они меньше сопротивляются локализации деформации в поверхностном слое, и частицы износа образуются после прохождения меньшего числа твёрдых деформирующих неровностей, сидящих на поверхности дорожки трения (рис. 3).

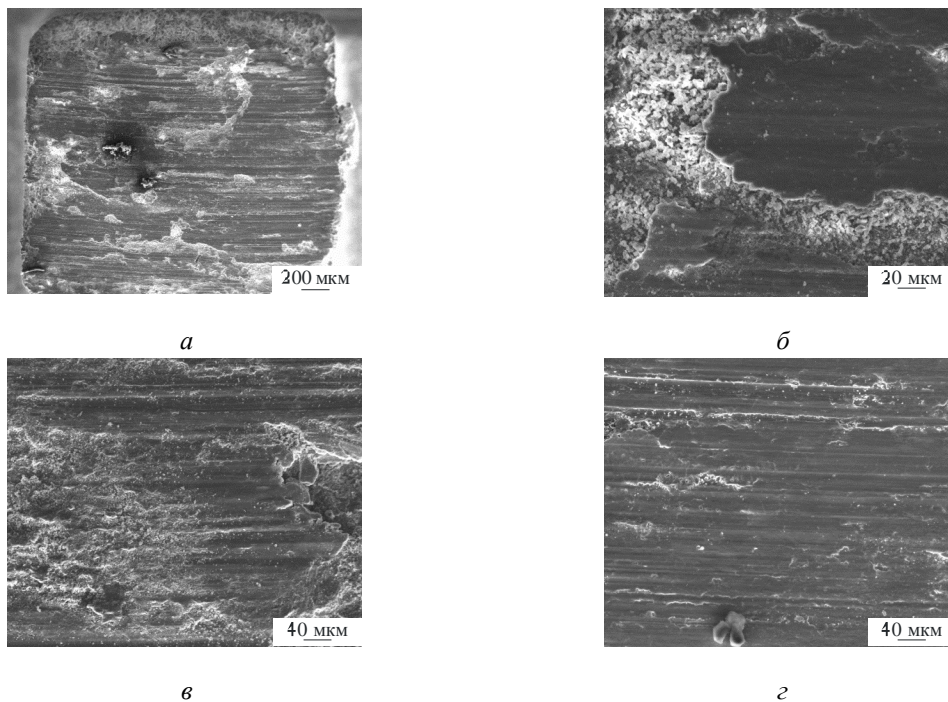


Рис. 2. Поверхность трения КМ40-12 (570 °С+ГП) (а, б), а также КМ40-7 спечённого (710 °С) в – и допрессованного (710 °С+ГП) г – образцов. Скорость скольжения – 0,6 м/с, Давление – 5 МПа

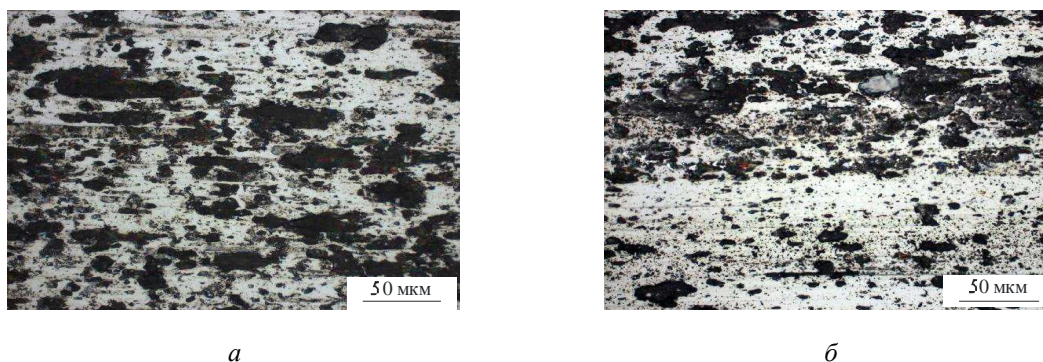


Рис. 3. Изображение поверхности дорожки трения на стальном контртеле после фрикционного взаимодействия с КМ40-12 (570 °С+ГП) а – и КМ40-7(710 °С+ГП) б – образцами. Скорость скольжения – 0,6 м/с, Давление – 5 МПа

Выводы. Из полученных результатов следует, что:

- добавление смачиваемых оловом и алюминием твёрдых частиц кремния или алюминидов железа в композиционный сплав Al-40Sn улучшает его сопротивление изнашиванию при сухом трении;
- для повышения износостойкости таких композитов следует минимизировать число адгезионных границ между оловянной фазой и твёрдыми добавками.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.

Список используемых источников:

1. Миронов А.Е., Белов Н.А., Столярова О.О. Аллюминиевые сплавы антифрикционного назначения. М.: Изд. дом МИСиС, 2016, 222 с.
2. Rusin N.M., Skorentsev A.L., Kolubaev E.A. Effect of equal channel angular pressing on mechanical and tribological properties of sintered Al-Sn composites // Journal of Materials Engineering and Performance. 2020. V. 29(3). P. 1955-1963.
3. Vencel A., Bobic I., Jovanovic M.T., Bobic M., Mitrovic S. Microstructural and tribological properties of A356 Al-Si alloy reinforced with Al₂O₃ particles // Tribology Letters. 2008. V. 32. P. 159-170.
4. Asif M., Chandra K., Misra P.S. Development of aluminium based hybrid metal matrix composites for heavy duty applications. Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2011. V. 10. N 14. P. 1337-1344.
5. Goudar D.M., Srivastava V.C., Rudrakshi G.B., Raju K., Ojha S.N. Effect of tin on the wear properties of spray formed Al-17Si alloy // Transactions of the Indian Institute of Metals. 2015. V. 68(1). P. 3-7.
6. Русин Н.М., Савицкий А.П., Тушинский Л.И., Попелюх А.И. Механические и триботехнические свойства спечённых сплавов системы алюминий-железо // Перспективные материалы. 1998. N 4. С. 42-49.
7. Kostornov A.G., Fushchich O.I. Sintered antifriction materials // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. 2007. V. 46. N 9-10. P. 503-512.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭЛЕКТРОПЛАСТИЧЕСКОГО И ВИБРОПЛАСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МЕТАЛЛЫ ПРИ ИХ ОБРАБОТКЕ

В.И. Сташенко¹, к.ф.-м.н., О.Б. Скворцов^{1,2}, к.т.н., О.А. Троицкий¹, д.т.н., профессор

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия,

101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4, тел. (499)135-81-20

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин», Россия,

115230, Москва, Варшавское шоссе, 46, тел. (495)120-03-18 доб.152

E-mail: vis20-11@rambler.ru

Аннотация: Представлены экспериментальные результаты исследования генерации вибрационного отклика в проводниках на воздействие внешнего электрического импульса. Влияние вибрационных процессов на механические свойства материалов проводника проявляется как электропластический и вибропластический эффекты. Отмечены такие особенности вибрационного отклика как формирование ударных возмущений в моменты начала переднего и заднего фронта внешнего электрического импульса, зависимость от полярности, линейная зависимость от амплитуды воздействия, возбуждение затухающих вибраций.

Abstract: A list of experimental results of studying the generation of a vibration response in conductors to the effect of an external electric pulse is presented. The influence of vibration processes on the mechanical properties of conductor materials is manifested as electroplastic and vibroplastic effects. Such features of the vibration response as the formation of shock disturbances at the moments of the beginning of the leading and trailing edges of an external electric pulse, dependence on polarity, linear dependence on the amplitude of the impact, and excitation of damped vibrations are noted.

Ключевые слова: электрический импульс, магнитное поле, удар, деформация, вибрация, ускорение, релаксация, изгиб.

Keyword: electric impulse, magnetic field, shock, deformation, vibration, acceleration, relaxation, bending.

Введение

В условиях воздействия токов высокой плотности в одиночном проводнике, даже если он выполнен из немагнитного материала, формируется сильное магнитное поле. Такое поле, как установлено экспериментально [1], оказывает заметное влияние на механические свойства материала проводника, например, влияет на его усталостную прочность. Практическим примером использования динамических сил, возникающих при пропускании электрического импульса через проводник, является магнитно-импульсная сварка. Такая сварка использует механические силы, действующие на свариваемые проводники в переменном магнитном поле создаваемом индуктором, через который пропускают разрядный ток конденсаторной батареи. При этом в качестве индуктора может исполь-

зоваться также прямой проводник большого сечения [2, стр.415]. В этой работе действие динамических сил объясняется взаимодействием магнитного поля индуктора и магнитного поля вихревых токов, генерируемых в свариваемых проводниках, которое создает пондеромоторные силы, вызывающие перемещение и деформацию в металле. В данном контексте авторы, видимо, понимают под пондеромоторными силами проявление силы Лоренца. Величина этой силы пропорциональна произведению величин токов во взаимодействующих металлических проводниках, которые создают магнитные поля. Классические пондеромоторные силы [3] на много порядков слабее, тех сил, которые вызывают соединение материалов при магнитно-импульсной сварке.

На практике, проводник может взаимодействовать с собственным магнитным полем и испытывать динамические деформации при отсутствии внешнего индуктора [4]. Закономерности такого взаимодействия рассмотрены в данной работе ниже.

Методика исследований

Внешний электрический импульс при воздействии на проводник можно получить при разряде конденсатора C . Схема такого эксперимента показана на рис. 1. Предварительно конденсатор заряжен до напряжения U . Длительность электрического импульса определяется временем замыкания ключа K . Вибрационные процессы в проводнике контролируются датчиком вибрации – акселерометром, который позволяет записать сигналы ускорения в направлении оси проводника (осевая вибрация) и в направлении перпендикулярном к этой оси (поперечная вибрация). В качестве датчика вибрации использован трехкомпонентный пьезоэлектрический акселерометр АП20.

Величина тока $I(t)$ в каждый момент времени оценивается по величине создаваемого этим током магнитного поля. Измерение этого магнитного поля проводится по сигналам датчика магнитной индукции. Магнитная индукция B пропорциональна напряженности магнитного поля H . В качестве датчика магнитной индукции использован бесконтактный датчик Холла DRV5053 с чувствительностью 11 мВ/мТ.

Для записи сигналов использован четырехканальный модуль сбора данных USB 4431, который обеспечивает синхронный ввод данных по четырем каналам с частотой дискретизации 102,4 КГц. Запись в компьютер выполняется автоматически при появлении импульсных сигналов. Записанные файлы данных обрабатываются для определения измеряемых характеристик вибрации и магнитного поля.

Поскольку записываемые сигналы имеют разную форму, которая изменяется во времени, в качестве основных характеристик для оценки сигналов используют автоматически формируемые оценки амплитуды для однополярных сигналов или размаха для сигналов, полярность которых меняется.

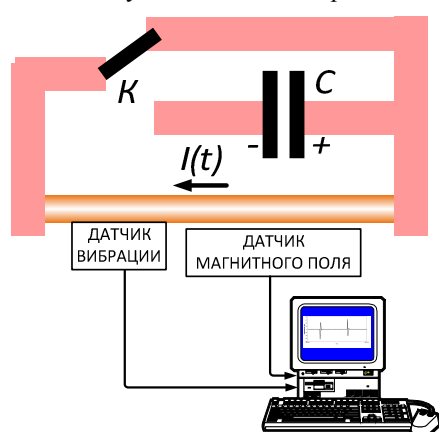


Рис. 1. Схема выполнения измерений вибрации металлического образца про воздействия напряжения конденсатора C при замыкании ключа K . Возникающий электрический ток $I(t)$ создает магнитное поле, измеряемое датчиком Холла

Записываемые сигналы ускорения вибрации могут быть преобразованы в сигналы перемещения с использованием программного модуля, реализующего двойное интегрирование сигнала ускорения. В большинстве случаев это нецелесообразно, поскольку при таком интегрировании происходит очень сильное подавление высокочастотных (быстроменяющихся) составляющих вибрационных сигналов. Такое ослабление приводит к потере информации о физических процессах, которые протекают с высокой скоростью. Это имеет важное значение для понимания таких механических процессов в проводнике, как ударные механические напряжения, которые не будут заметны в результатах анализа сигналов перемещения.

При проведении экспериментальных исследований были использованы образцы круглого и прямоугольного сечения, выполненные из алюминия, меди, латуни, стали, титана, серебра и золота.

Изучалось влияние режимов задания амплитуды, длительности и частоты для одиночных и коротких пакетов из нескольких импульсов. Длительность воздействия электрических импульсов ограничивалась необходимостью исключения заметного нагрева образца для снижения

влияния тепловых эффектов. Для одиночных импульсов повышение температуры при прохождении импульса тока не превышало нескольких градусов.

Для определения влияния полярности внешних электрических импульсов на получаемые результаты выполнялось или переключение шин, к которым присоединен образец, или использовался генератор импульсов чередующейся полярности.

Для исследования формы механических колебаний использовались несколько датчиков ускорения. Два датчика были установлены симметрично на диаметрально противоположных сторонах образца. Такие измерения позволили определить, что основные поперечные колебания связаны с изгибной формой деформации проводника.

Результаты

На рис. 2 а представлены графики типовых записей сигналов ускорения и магнитной индукции. Величину магнитной индукции B измеряли двумя датчиками магнитного поля. Оси чувствительности этих датчиков направлены ортогонально и лежат в плоскости перпендикулярной к оси проводника. Эти датчики формируют сигналы B_x и B_y , определяющие величину B

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2}$$

Внешний электрический импульс начинается в момент времени t_1 и заканчивается в момент времени t_2 . Поперечное ускорение контролируется двумя акселерометрами, которые установлены на противоположных сторонах проводника. Оси чувствительности этих акселерометров направлены в сторону оси проводника. Получаемые от акселерометров сигналы имеют противоположный знак, что свидетельствует об изгибной форме вибрационного отклика. В начальные моменты переднего и заднего фронтов внешнего электрического импульса в проводнике возникают ударные механические напряжения, переходящие в затухающие колебания. При этом, такие ударные механические напряжения и колебания соответствующие переднему и заднему фронтам имеют противоположные знаки. Аналогичная зависимость полярности отклика наблюдается и для внешних электрических импульсов разной полярности.

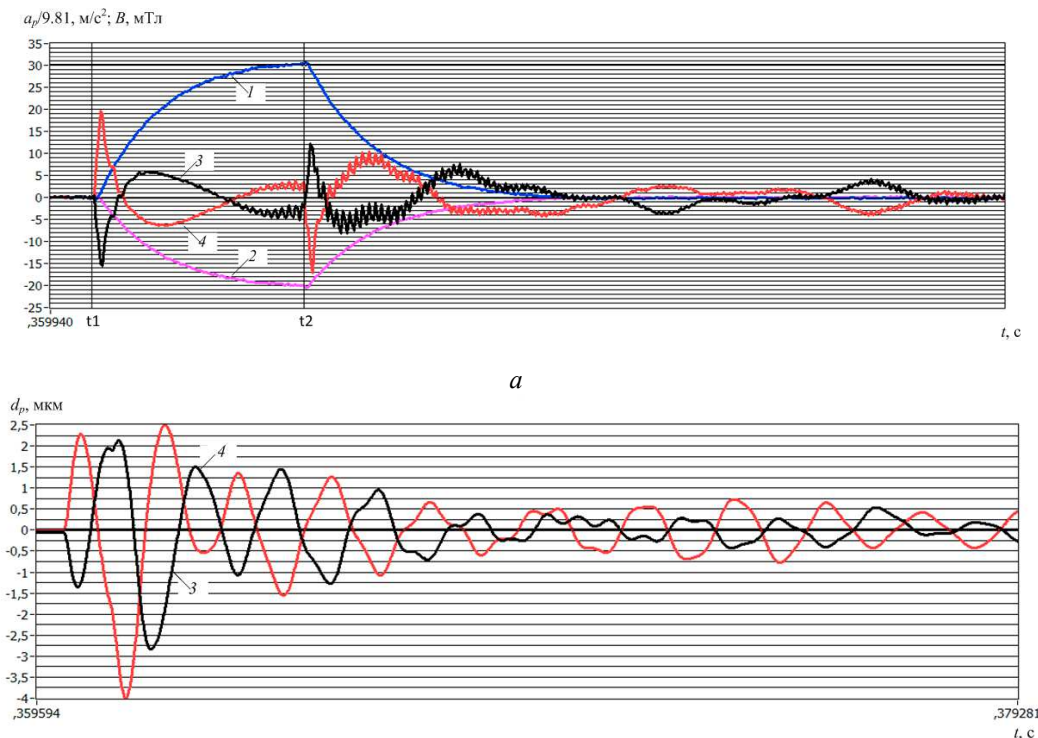


Рис. 2. Магнитная индукция в плоскости поперечного сечения проводника из меди диаметром 3 мм B_x – 1 и B_y – 2, а также поперечная вибрация 3 и 4 на противоположных сторонах проводника: ускорение (а) и перемещение (2)

Получаемые при измерениях для этих сигналов зависимости перемещения от времени (рис. 2б) также показывают симметричность вибрационного отклика, но на них нет детализации быстропротекающих изменений, соответствующих моментам возникновения ударных механических напряжений.

Ударное механическое напряжение, создаваемое в начальный момент времени t_1 , заканчивается значительно раньше, чем происходит увеличение тока и магнитного поля, наращивание которых ограничено влиянием самоиндукции и поверхностного эффекта.

При этом зависимость размаха сигналов ускорения от размаха сигналов магнитной индукции близка к линейной и не зависит от полярности внешнего электрического импульса, как показано на рис. 3а.

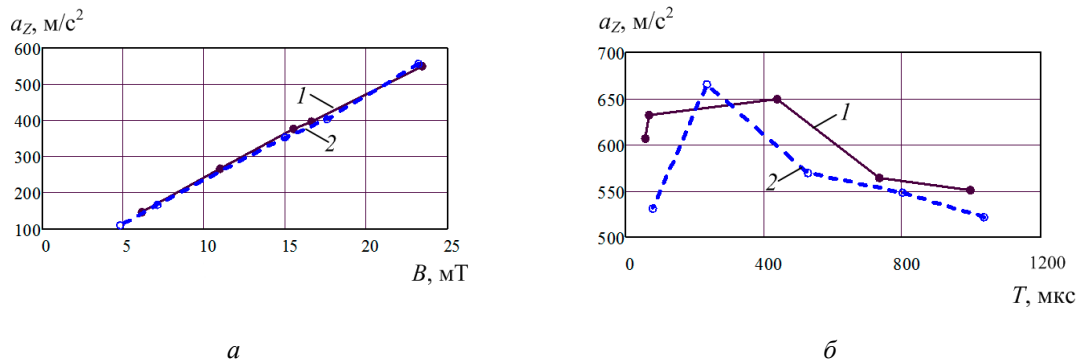


Рис. 3. Зависимость размаха осевого ускорения a_z от размаха магнитной индукции B (а) и от длительности T внешнего электрического импульса (б). Импульс «прямой» 1 и «обратной» 2 полярностей. Образец из медной фольги с поперечным сечением толщиной 0,1х5 мм

Зависимость размаха вибрационного отклика от длительности внешнего электрического импульса (рис. 3 б) показывает наличие максимума в области 50-200 мкс. Наличие такого максимума можно объяснить интерференцией колебаний формируемых в моменты начала переднего и заднего фронтов импульсов [4].

Линейная зависимость между размахом величины плотности тока J и размахом величины ускорения a для разных материалов проводника подтверждается экспериментальными результатами таких измерений, представленными на рис. 4.

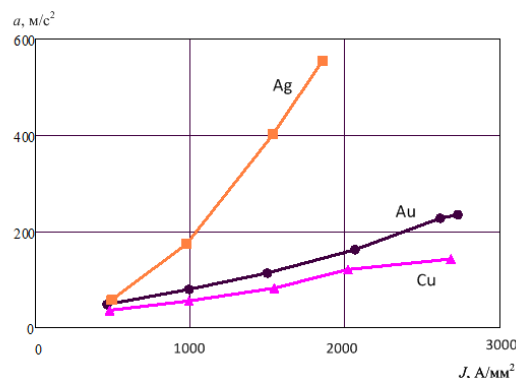


Рис. 4. Зависимость размаха поперечного ускорения от плотности тока через проводник для различных материалов (серебро – Ag, золото – Au, медь – Cu). Диаметр проводника 3 мм

Хотя знак вибрационного отклика меняется при изменении знака внешнего электрического импульса, общий вид и величина размаха вибрационного отклика остается постоянной. Это видно из записи сигналов магнитной индукции и вибрации при воздействии на проводник последовательности электрических импульсов чередующейся полярности, как показано на рис. 5.

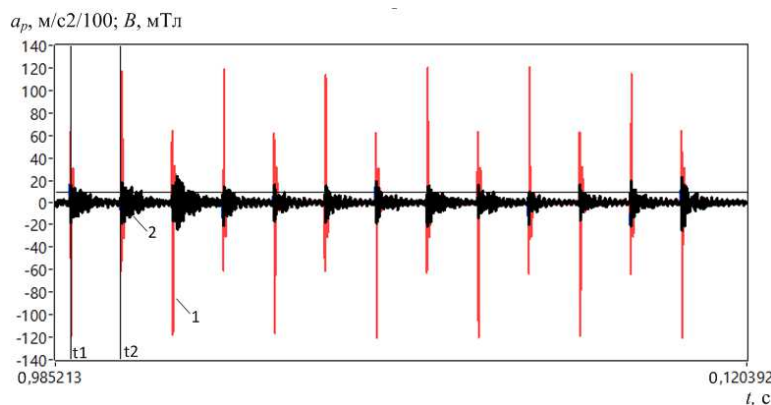


Рис. 5. Магнитная индукция = 1 и вибрация – 2 для проводника из серебра диаметром 1 мм при воздействии электрических импульсов с частотой 103 Гц и чередующейся полярностью

Обсуждение результатов

Формирование вибрационного отклика на действие внешнего прямоугольного электрического импульса происходит независимо для переднего и для заднего фронта. В начальные моменты этих фронтов в материале проводника генерируется ударное механическое напряжение. В эти моменты времени ток через проводник еще не успевает сколько-нибудь значительно измениться. Последующее изменение тока и магнитного поля не оказывает заметного влияния на изменение величину продольного и поперечного ускорения и связанные с ними продольные и поперечные механические напряжения. Во время изменения тока или магнитного поля, как в случае переднего, так и заднего фронтов вибрационный отклик имеет вид затухающих колебаний. Полярность вибрационного отклика зависит от полярности внешнего электрического импульса и противоположна для отклика на начало переднего и заднего фронтов. Внешнего электрического импульса. Имеется линейная зависимость амплитудных характеристик вибрационного отклика и амплитуды тока, магнитного поля или плотности тока от величины амплитуды электрического импульса, но максимальные значения для величины ускорения (механических напряжений) и величины магнитного поля (тока через проводник) не совпадают во времени. Оценка вибрационного отклика практически не зависит одинакова для любой полярности внешнего электрического импульса, которая влияет на полярность формируемых продольных и изгибных форм механических колебаний, генерируемых при этом.

Наблюдаемые процессы упругой деформации проводника, сопровождающиеся затухающими вибрациями, могут оказывать влияние на скорость диффузии в материалах проводника [5, 6], движение дислокаций [7], изменение фазового состояния в материале [8], фреттинг [9, 10], но эти физические процессы не являются сами по себе источником рассматриваемого вибрационного отклика. Эти физические процессы могут вызывать процессы деформации, которые отличаются от рассматриваемых в этой работе.

Заключение.

Ударно-волновые процессы в материале проводников из различных металлов, связанные с воздействием импульсных токов оказывают на свойства материалов динамические воздействия, что позволяет управлять свойствами материалов. Примеров такого применения является обработка металлов с применением электропластического эффекта. Выбор режимов для такой обработки предполагает понимание закономерностей, связанных с проявлением вибрационного отклика материала проводника на электрическое импульсное воздействие.

Список использованных источников:

1. Александров П.А., Бударгин В.В., Шахов М.Н., Никанорова Н.И., Трофимчук Е.С. Механические свойства некоторых материалов в магнитном поле // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Термоядерный синтез, Том: 1, 2006. – С.24–30.
2. Оборудование и основы технологии сварки металлов плавлением и давлением: Учебное пособие / Под ред. Г.Г. Чернышова и Д.М. Шашина. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 464 с.
3. Валитов Р.А., Хижняк Н.А., Жилков В.С., Валитов Р.Р. Пондеромоторное действие электромагнитного поля // Советское радио, 1975. – 232 с.

4. Троицкий О.А., Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Савенко В.С., Самуйлов С.Д., Терещук В.С., Зайцев С.В., Иванов А.М. Интенсивная пластическая деформация металла при токовых и СВЧ - воздействиях. Новые данные и закономерности // Изд-во КИМ Л.А., М.: 2020. – 342 с.
5. Кузнецов Е.В. Синергетические принципы самоорганизации пластической деформации твёрдых кристаллических тел // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. №3(293). – 2012 – С.38–41.
6. Любимов Д.Н., Рыжиков В.А. Физико-химические процессы при трении: Учеб. пособие / Шахтинский институт ЮРГТУ. – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2003. – 142 с.
7. В. С. Савенко, А. Г. Силивонец, С. А. Ермоковец, Влияние пондеромоторных факторов на микроструктурные характеристики магния при электропластической деформации, ПФМТ, 2016, выпуск 2(27), 24–28 с.
8. Фролова А.В., Царенко Ю.В., Рубаник В.В. мл., Рубаник В.В., Столяров В.В., Деформационное поведение в сплавах с мартенситным превращением под внешними воздействиями // Известия РАН. Серия физическая, 2019, Т. 83, № 10, С. 1410–1415.
9. Щетинин С.В. Фреттинг-коррозия деталей металлургического оборудования // Захист металургійних машин від поломок, 2005, вып. 8. – С.174–178.
10. Измайлов В.В., Левыкин Д.А. Экспериментальное исследование фреттинг-изнашивания // ТвГТУ. Тверь, 2013. – 11 с.

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ВИБРАЦИОННОГО ОТКЛИКА НА ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ИМПУЛЬСА В ПРОВОДЯЩИХ МАТЕРИАЛАХ

О.А. Троицкий¹, д.т.н., профессор, О.Б. Скворцов^{1,2}, к.т.н., В.И. Сташенко¹, к.ф.-м.н.

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия,

101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4, тел. (499)135-81-20

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин», Россия,

115230, Москва, Варшавское шоссе, 46, тел. (495)120-03-18 доб.152

E-mail: oatroitsky@mail.ru

Аннотация: Рассмотрены результаты анализа экспериментальных исследований вибрационного отклика проводника на воздействие внешнего электрического импульса. Появление механических напряжений и ускорений происходит до увеличения тока через проводник. Величина тока ограничивается влиянием самоиндукции и скин-эффектом. Полярность вибрационного отклика зависит от полярности внешнего электрического импульса. Вибрационные отклики формируются в моменты начала переднего и заднего фронтов внешнего электрического импульса и имеют противоположные знаки. Влияние изменения магнитного поля, создаваемого протеканием электрических токов через проводник, при этом оказывается незначительным при исследовании вибрационных процессов соответствующих области упругих деформаций материала.

Abstract: The results of the analysis of experimental studies of the vibration response of a conductor to the effect of an external electric pulse are considered. The appearance of mechanical stresses and accelerations occurs before an increase in the current through the conductor. The magnitude of the current is limited by the influence of self-induction and the skin effect. The polarity of the vibration response depends on the polarity of the external electrical impulse. Vibration responses are formed at the moments of the beginning of the leading and trailing edges of an external electrical impulse and have opposite signs. The influence of the change in the magnetic field created by the flow of electric currents through the conductor, in this case, turns out to be insignificant in the study of vibration processes in the corresponding area of elastic deformations of the material.

Ключевые слова: электрический импульс, удар, вибрация, деформация, электропластический эффект, вибропластический эффект, релаксация, металл.

Keyword: electrical impulse, shock, vibration, deformation, electroplastic effect, vibroplastic effect, relaxation, metal.

Введение

Воздействие внешнего электрического поля на проводящий материал влияет на имеющиеся в нем заряженные частицы, что сопровождается их ускоренным движением. Движение с ускорением таких частиц сопровождается формированием в продольных и поперечных волновых процессов в материале проводника [1]. Такие процессы протекают с высокой скоростью и создаваемые

при этом перераспределение заряженных частиц, зависит от полярности приложенного внешнего электрического поля. Такие процессы затем вызывают появление тока через проводник, увеличивающегося сравнительно медленно из-за влияния самоиндукции и скин-эффекта, а также формирует начальные внутренние механические напряжения. Такие механические напряжения вызывают в материале проводника генерацию затухающих вибраций. Если материал проводника не подвергается при этом пластической деформации, такие вибрационные процессы фиксируются как упругие деформации материала проводника. Если вибрационные процессы сопровождаются процессами пластической деформации, их действие проявляется как электропластический или вибропластический эффекты. Такие эффекты демонстрируют заметное увеличение пластичности материала проводника в условиях внешнего электромагнитного воздействия [2, 3].

Методика экспериментальных исследований.

Вибрационный отклик, создаваемый в проводнике действием внешнего электрического импульса, может быть записан как сигнал от датчика вибрации (ДВ) – акселерометра типа АП21, установленного на этом проводнике, как показано на рис. 1. Такой акселерометр позволяет оценить поперечное (радиальное) $a_z=a_p$ и осевое (продольное) $a_y=a_d$ ускорения материала проводника. Величину тока через проводник при этом можно оценивать по величине магнитного поля, создаваемого этим током. Ток I и напряженность магнитного поля H около одиночного проводника на расстоянии R от него

$$H = \frac{I}{2\pi \cdot R}.$$

В качестве бесконтактного датчика магнитного поля (ДМП) использованы три датчика Холла DRV5053, оси чувствительности которых направлены ортогонально, что обеспечивает возможность оценки кольцевой компоненты B_c магнитной индукции. Магнитная индукция B связана с напряженностью магнитного поля H :

$$B[\text{Тс}] = 1,257 \cdot 10^{-6} \left[\frac{H}{\text{А}^2} \right] \cdot \mu \cdot H \left[\frac{\text{А}}{\text{м}} \right],$$

где μ - магнитная проницаемость окружающей среды (для воздуха $\mu \approx 1$).

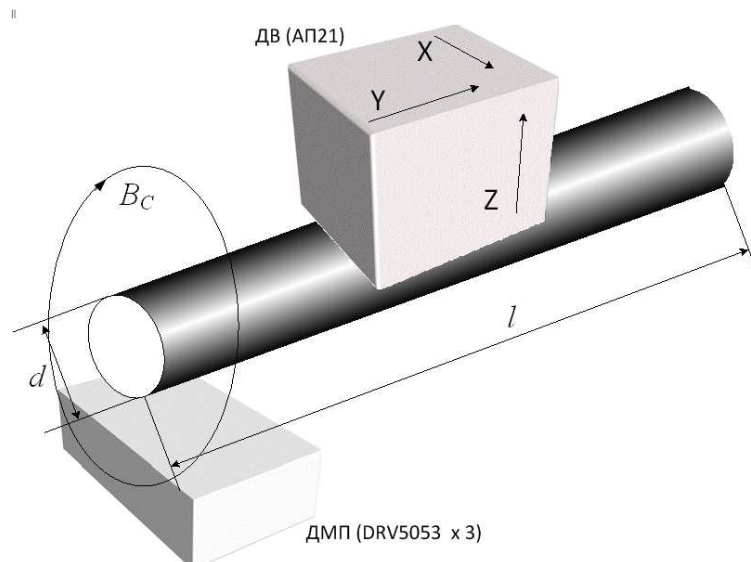


Рис. 1. Схема расположения датчика вибрации ДВ на проводнике и датчика магнитного поля ДМП около проводника.

Для определения формы колебаний проводника на него может быть установлено несколько датчиков. Например, для оценки, какую поперечную деформацию испытывает проводник (сжатие-растяжение или изгиб) на него можно установить два датчика с противоположных сторон, как показано на рис. 2.



Рис. 2 . Датчики АР21 закрепленные на противоположных сторонах медного образца в виде круглого стержня диаметром 3 мм

Сигналы с датчиков вибрации и магнитного поля записываются компьютером для последующей обработки.

Результаты измерений

Типичный пример зависимости компонент магнитной индукции и ускорения (проводник из меди диаметром 3 мм) представлены на рис. 3.

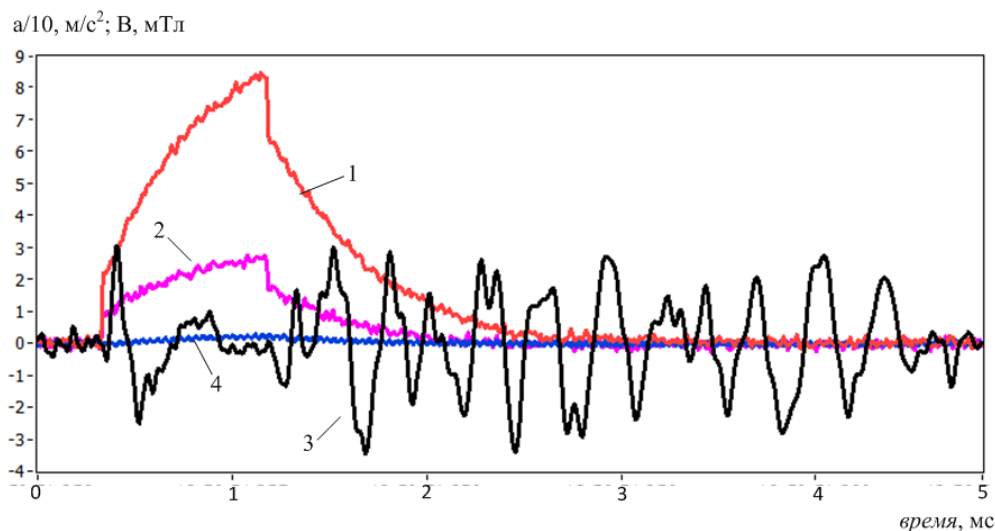


Рис. 3 . Зависимости компонент магнитной индукции B – 1 и 2, а также ускорения a поверхности проводника – 3 и 4 от времени при воздействии электрического импульса на проводник из меди диаметром $d=3$ мм и длиной $l=150$ мм

Вибрационный отклик, формируемый в момент начала электрического импульса практически заканчивается к моменту прихода заднего фронта этого импульса. В момент прихода заднего фронта внешнего электрического импульса формируется новый вибрационный отклик, который продолжается в виде затухающих колебаний и после завершения действия внешнего электрического импульса. Это позволяет описать воздействие импульса как сумму двух затухающих колебательных процессов

$A1(t)$ и $A2(t)$, начало которых определяется моментом t_s прихода переднего фронта переднего фронта и моментом t_E прихода заднего фронта внешнего электрического импульса:

$$A1(t) = \begin{cases} 0 & \text{если } t < t_s \\ AM \sin\left(\frac{t-t_s}{T}\right) \cdot \exp\left(-\frac{t-t_s}{\tau}\right) & \text{если } t \geq t_s \end{cases}$$

и

$$A2(t) = \begin{cases} 0 & \text{если } t < t_E \\ AM \sin\left(\frac{t-t_E}{T}\right) \cdot \exp\left(-\frac{t-t_E}{\tau}\right) & \text{если } t \geq t_E \end{cases}$$

откуда

$$A(t) = A1(t) - A2(t),$$

где

$$T = \frac{1}{\omega_c} \quad \tau \approx 1,2 \cdot T$$

Причем $T_p = t_E - t_s$ длительность импульса, а ω_c – собственная частота механических колебаний проводника.

В получаемых экспериментальных данных можно отметить наличие скачка в изменении магнитного поля в моменты начала переднего и заднего фронтов. Такие изменения имеют противоположные знаки, а их появление совпадает по времени с ударным возбуждением механических напряжений приводящих к последующим затухающим колебаниям в материале проводника.

Обсуждение. Результаты

Полученная модель вибрационного отклика позволяет получить зависимость колебаний при различной длительности внешнего электрического импульса. Такую зависимость можно представить в виде трехмерного графика, показанного на рис. 4. Из полученного графика видно, что для колебаний имеется несколько максимумов и минимумов. Для исследуемого проводника существует длительность внешнего электрического импульса позволяющего получить максимальный отклик по вибрации, близкий к максимальному размаху величины ускорения A_{max} - A_{min} , который соответствует максимальному вибрационному воздействию на проводник. Экспериментально показано, что наличие такого максимального вибрационного воздействия в диапазоне длительностей 100-200 мкс [2]. Именно такие длительности электрических импульсов выбирают при проведении исследований электропластического эффекта и его влияния на механические свойства металла проводников.

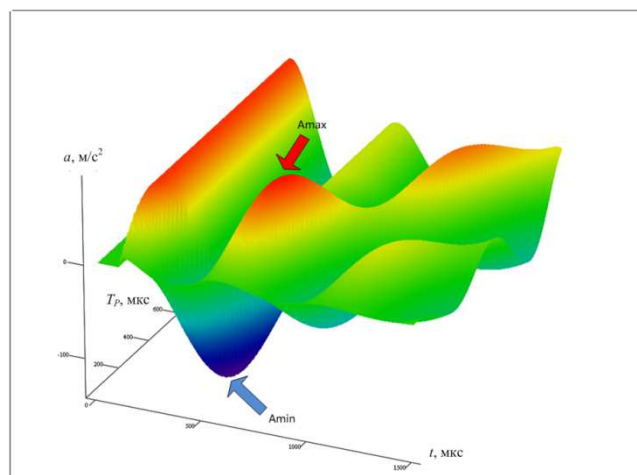


Рис. 4. Изменение вибрационного отклика при различных значениях длительности внешнего электрического импульса

Процессы генерации механических напряжений и изменения тока через проводник не совпадают по времени. В затухающих вибрациях, формируемые в процессе действия внешнего электрического импульса, при этом не заметно проявлений изменений магнитных полей. При этом амплитуда, как магнитных полей, так и вибрационного отклика линейно зависят от амплитуды внешнего электрического импульса. Знак сигналов магнитного поля и вибрационного отклика также зависят от знака (направления) внешнего электрического импульса. Можно предположить, что процессы формирования вибрационного отклика и изменения тока и магнитного поля развиваются параллельно во времени. На эти процессы могут накладываться процессы тепловых деформаций проводника и деформаций, связанных с влиянием пинч-эффекта. Эти процессы не зависят от полярности внешнего электрического импульса, а их величина пропорциональна квадрату величины тока. Однако для области упругих деформаций их вклад оказывается незначительным.

С учетом изложенного, процесс развития вибрационного отклика можно представить в виде диаграммы, показанной на рис. 5.

Исследования физических причин формирования вибрационного отклика в материале проводника [2-5] на настоящее время не учитывают особенности происходящих изменений во времени, что может быть причиной отсутствия непротиворечивого описания.

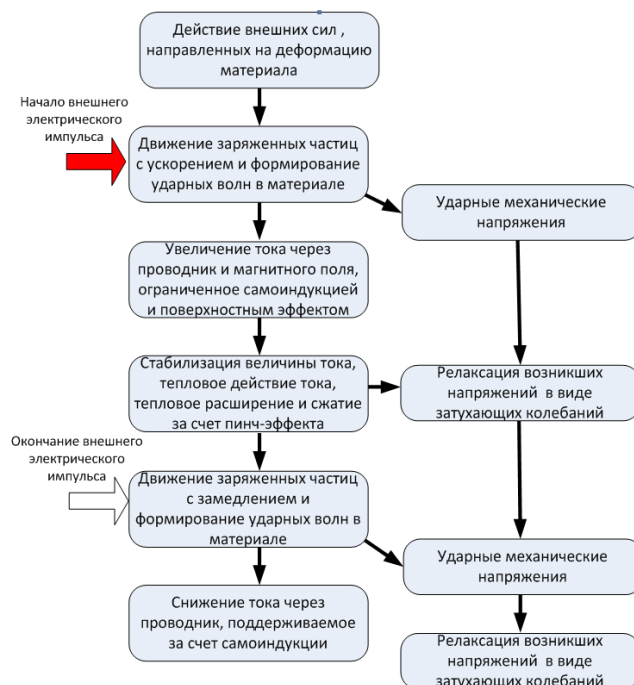


Рис. 5. Диаграмма развития вибрационного отклика в проводнике при воздействии на него внешнего прямоугольного импульса

Заключение

Действие электрических импульсов на металлы в процессе их обработки получило широкое практическое распространение [2, 3, 6]. Такие воздействия оказывают заметное влияние на прочность металла [7]. Эти соображения определяют практическую важность проводимых в данной области экспериментальных и теоретических исследований. Вопросы зависимости полярности происходящих процессов не получили до настоящего времени достаточного внимания. Имеющиеся исследования [8] ограничиваются оценкой эффектов в условиях дополнительно внешнего статического механического нагружения, которое также меняет знак вибрационного отклика. Представленные в результаты дополняют такие исследования.

Список использованных источников:

1. Парселл Э. Электричество и магнетизм. Берклеевский курс физики // Т.2. Изд-во «Лань», 2005. – 444 с.

2. Троицкий О.А., Сташенко В.И., Савенко В.С., Скворцов О.Б., Самуйлов С.Д., Правоторова Е.А., Терещук В.С. Воздействия импульсами тока и СВЧ- излучением на конструкционные материалы. Электродинамические и электрохимические эффекты в проводниках // М.: Издательство «Ким Л.А.», 2019. – 278 с.
3. Троицкий О.А., Сташенко В.И., Скворцов О.Б., Савенко В.С., Самуйлов С.Д., Терещук В.С., Зайцев С.В., Иванов А.М. Интенсивная пластическая деформация металла при токовых и СВЧ - воздействиях. Новые данные и закономерности // Изд-во «Ким Л.А.», М.: 2020. – 342 с.
4. Суркаев А.Л., Усачев В.И., Кумыш М.М. Исследование миллисекундного электрического взрыва металлических проводников // Письма в ЖТФ, т.37, вып.23, 2011. – С. 97–104
5. Батаронов И.Л. Механизмы электропластичности // Соросовский образовательный журнал, №10, 1999. – С. 93–99.
6. Montilla-Montaña C.A., Jaramillo-Blandón J.S., Rodríguez-Valencia A.F. Influence of metal turning assisted with high density current pulses on surface hardness in an AISI/SAE 1045 steel // Scientia et Technica Año XXIV, Vol. 24, No. 02, junio de 2019. – С. 205–211.
7. Zhichao Cai Study on the orientation detection of surface cracks by electromagnetic acoustic emission // International Journal of Distributed Sensor Networks. Vol. 15(4), 2019. – 11 p.
8. Demler E., Gerstein G., Dalinger A., Epishin A., Heidenblut T., Nürnberger F., Maier H.J. Influence of high current-density impulses on the stress-strain response and microstructural evolution of the single crystal superalloy CMSX-4 // Materials Research. Vol.21, n. 6, 2018. – P. 1–9.

ВЛИЯНИЕ ТИПА НАПОЛНИТЕЛЯ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЕЧЁННОГО КОМПОЗИТА AL-20SN

А.Л. Скоренцев, к.т.н., н.с., Н.М. Русин, к.т.н., с.н.с.

Институт физики прочности и материаловедения

Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН)

634021, г. Томск, просп. Академический, 2/4; тел. (3822)-28-69-62

E-mails: skoralexan@mail.ru; rusinnm@mail.ru

Аннотация: В работе исследовано влияние твердых добавок на структуру и трибо-механические свойства спеченного сплава Al-20Sn. Установлено, что добавление частиц кремния заметно повышает его прочность и износостойкость при сухом трении по стали. Введение алюминидов железа также приводит к повышению прочности сплава, однако его износостойкость при этом практически не меняется по причине окружения твердых частиц мягкими оловянными прослойками.

Abstract: An effect of hard additives on the structure and tribo-mechanical properties of a sintered Al-20Sn alloy was investigated. It was found that the addition of silicon particles noticeably increases its strength and wear resistance under dry friction against steel. The addition of iron aluminides also increases the strength of the alloy. However, at the same time, its wear resistance practically does not change due to surrounding of the hard particles by soft tin interlayers.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, жидкофазное спекание, сухое трение, интенсивность изнашивания.

Keywords: aluminum-based alloys, liquid phase sintering, dry friction, wear intensity.

Введение. Подшипниковые сплавы системы Al-Sn хорошо зарекомендовали себя в качестве антифрикционных материалов [1, 2] и рекомендуются ГОСТ 14113-78 для применения в узлах трения машин. Наилучшими триботехническими свойствами среди данных сплавов обладает сплав АО 20, содержащий 20 % (масс.) Sn. Этот материал относительно мягок и используется как покрытие твердых подшипниковых вкладышей. Для того чтобы можно было использовать монометаллические вставки из сплавов системы Al-Sn, необходимо увеличить их несущую способность за счёт упрочнения алюминиевой матрицы. Однако сделать это не так просто, поскольку легирующие элементы при кристаллизации расплава неизбежно попадают в олово и существенно снижают его пластичность.

Следовательно, добавки должны не взаимодействовать с оловом и не образовывать хрупких переходных слоёв на границе с алюминиевой матрицей. В настоящее время в качестве износостойких добавок в алюминий используют керамические частицы типа оксидов или карбидов [3, 4]. Но они плохо смачиваются оловом и образуют с ним слабые адгезионные границы. В настоящей работе в качестве твердых добавок в сплав Al-20Sn использовались частицы кремния и алюминидов железа состава $FeAl_3$, которые хорошо себя зарекомендовали ранее при трении со смазкой [5, 6].

Целью настоящей работы было проведение сравнительных механических и триботехнических испытаний указанных выше композитов.

Материалы и методика эксперимента. Композиты для исследования были получены путём спекания порошковых смесей в вакуумной печи. Первая смесь была составлена из порошков олова марки ПО 2 и силумина Al-9Si, взятых в весовой пропорции 1:4, а вторая порошковая смесь содержала 8% железа марки ПЖ-4, 21% олова марки ПО 2 и порошки алюминия марки АСД-4 – остальное. В результате спекания в первом случае был получен композит состава (Al-9Si)-20Sn, именуемый далее KM20, и композит состава Al-8Fe-21Sn, именуемый далее KM21. Далее, спечённые образцы подвергались доуплотнению в закрытой пресс-форме при 250 °C и давлении около 300 МПа.

Механические испытания на сжатие проводили на машине Walter+ Bai AG LFM-125 со скоростью осадки 0,5 мм/мин. Испытания на сухое трение проводили по схеме «палец-диск» на триботестере фирмы «Tribotechnic» (France) при постоянной скорости скольжения 0,6 м/с в диапазоне давлений 1-5 МПа. Длина пути трения L составляла 500 м. Образцы были прямоугольной формы с торцевой поверхностью трения 2x2 мм. В качестве контртела использовался диск, изготовленный из малоуглеродистой стали, закалённой до твёрдости 47-50 HRC. Коэффициент трения определялся автоматически встроенным компьютером. Интенсивность изнашивания определяли по формуле: $I_h = \Delta h/L$, где Δh – укорочение образца после пути трения L.

Шлифы для металлографических исследований готовились путём шлифования поверхности наждачной бумагой с убыванием размера абразивных частиц, а затем на сукне с нанесённой алмазной пастой. Шлиф протравливался 4% раствором азотной кислоты в спирте. Исследования структуры проводили с применением предоставленных ЦКП «НАНОТЕХ» ИФПМ СО РАН (ЦКП ТНЦ СО РАН) оптического AXIOVERT-200MAT (Zeiss, Германия) и сканирующего электронного LEO EVO 50 (Карл Цейс, Германия) микроскопов.

Результаты и их обсуждение. Спекание смеси порошков олова с силумином проводили при температуре ниже плавления эвтектики Al-Si (577 °C) во избежание образования большого количества жидкой фазы. В противном случае имело место огрубление структуры и снижение механических свойств композита. Присутствие же только жидкого олова не позволяло получать спеканием материал с низкой пористостью и его приходилось доуплотнять в закрытом штампе.

Структура полученных спеканием композитов представлена на рис. 1. Видно, что для правильной оценки распределения элементов в композите необходимо использовать и оптический и электронный микроскопы, поскольку кремний и алюминий расположены в таблице Менделеева рядом. Из представленных фотографий видно, что часть алюминиевых зёрен претерпела перекристаллизацию через жидкие прослойки олова (рис. 1б). В результате содержащиеся в исходных порошинках силумина частицы кремния оказались на границах между зёрнами в окружении оловянной фазы (рис. 1в).

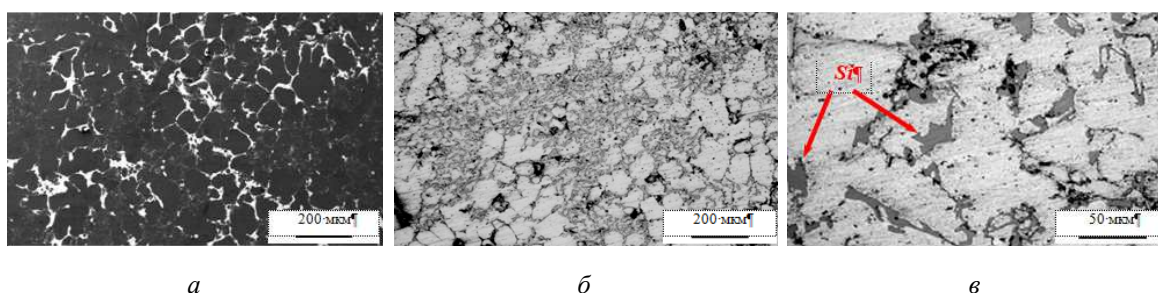


Рис. 1. Структура композита KM20 после спекания при 570 °C (1 ч) и последующего горячего доуплотнения в электронных (а) и оптических (б, в) лучах

Однако перекристаллизация была не полной, и композит содержал большое количество пор, которые снижали его механические свойства. Горячая допрессовка (ГД) спечённых образцов в закрытом штампе способствовала заполнению материалом значительной части содержащихся в них пор. Прочность KM20 на сжатие в результате такой обработки выросла практически вдвое, как это следует из кривых течения, приведённых на рис. 2. При этом спечённый при температуре выше точки плавления эвтектики (590 °C) KM20 имел меньший предел прочности из-за низкой пла-

стичности материала. Она снизилась по причине измельчения частиц кремния, более равномерного их перераспределения и сокращения длины свободного пробега дислокаций.

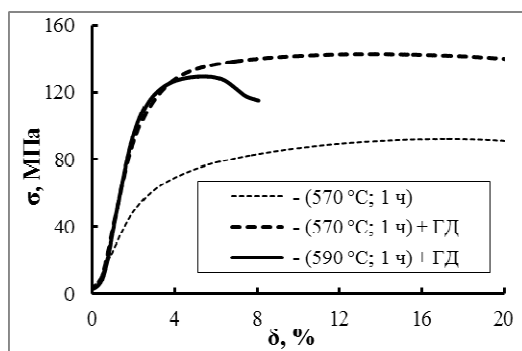


Рис. 2. Кривые сжатия спечённого при различных температурах в течение часа KM20 до и после горячего доуплотнения

Следствием снижения пластичности спечённых при 590 °C образцов стала их низкая износостойкость при сухом трении, уступающая по величине даже не подвергшемуся уплотнению спечённому при 570 °C композиту KM20 (Табл. 1). Тогда как после допрессовки интенсивность изнашивания более пластичных образцов понизилась дополнительно и стала ниже, чем у базового двухфазного сплава Al-20Sn.

Если износостойкость KM20 при подъёме температуры его спекания выше 570 °C ухудшалась, то износостойкость KM21, наоборот, улучшалась после нагрева до более высокой температуры. При этом фазовый состав такого композита был сформирован при более низкой температуре, и спекание при 570 °C и выше его не меняло. То есть,

спекание KM20 и KM21 проходило примерно в равных условиях: твёрдофазная алюминиевая матрица содержала твёрдые тугоплавкие частицы, а также включения жидкого олова. Однако трансформация частиц тугоплавкой фазы была разной. Так, частицы кремния при температуре более 577 °C растворялись в жидкой эвтектике Al-Si и выпадали в виде мелких частиц при её кристаллизации, снижая при этом пластичность композита. Тогда как частицы алюминидов, напротив, укрупнялись при повышении температуры спекания за счёт растворения мелких частиц и выпадения их атомов на поверхности с меньшей кривизной более крупных частиц (рис. 3).

Тем не менее, большое количество алюминидов не позволяет спекаемым прессовкам уплотниться до беспористого состояния. Образцы разрушались при малых степенях их осадки. Для снижения их пористости и повышения пластичности образцы спекались при 620 °C, а после обжимались в закрытом штампе. Обработка привела к повышению плотности и пластичности KM21. Образцы данного состава после допрессовки имели практически такую же прочность, как и KM20, спечённый при 590 °C (Табл. 2). Однако последний имел низкую пластичность, поэтому при сухом трении демонстрировал плохую износостойкость. Пластичность допрессованного KM21 была выше, чем у KM20, спечённого при 570 °C, но большинство упрочняющих частиц размещалось не в алюминиевой матрице, а было окружено мягким оловом в кластерах (рис. 3). Олово практически не упрочняется при деформации, поэтому KM21 слабее упрочнялся при больших деформациях.

Таблица 1

Влияние режима получения на интенсивность изнашивания исследуемых композитов при сухом трении по стали.

Состав	Режим получения	Интенсивность изнашивания I_h , мкм/м			
		1 МПа	3 МПа	4 МПа	5 МПа
KM20	(570 °C; 1 ч)	0,13	0,21	0,30	0,41
	(570 °C; 1 ч) + ГД	0,11	0,16	0,26	0,30
	(590 °C; 1 ч) + ГД	0,18	0,28	0,34	0,42
Al-20Sn	(600 °C; 1 ч) + ГД	0,12	0,20	-	0,36
KM21	(570 °C; 1 ч)	0,16	0,32	0,52	0,59
	(570 °C; 1 ч) + ГД	0,16	0,28	0,40	0,46
	(620 °C; 1 ч) + ГД	0,12	0,22	0,32	0,36

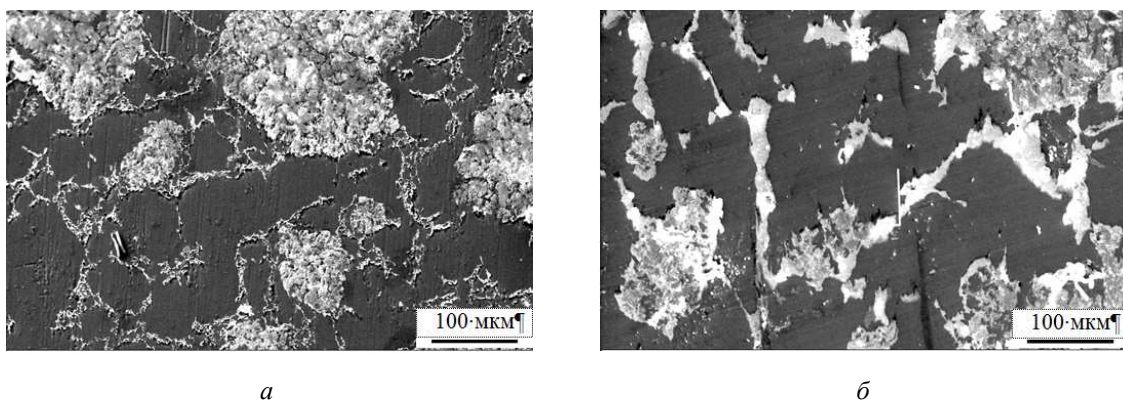


Рис. 3. Структура KM21, спечённого при 570 (а) и 620 (б) °C в течение часа

Таблица 2

Структурные характеристики и механические свойства спечённых KM20 и KM21 при испытаниях на сжатие.

Состав	Режим получения	Механические свойства				Плотность, г/см ³	Пористость, %
		$\sigma_{0.2}$, МПа	σ_{-2} , МПа	σ_B , МПа	δ , %		
KM20	(570 °C; 1 ч)	58	78	97	18	2,75	9,5
	(570 °C; 1 ч) + ГД	100	131	145	20	3,08	< 1
	(590 °C; 1 ч)	-	-	-	-	2,71	10,9
	(590 °C; 1 ч) + ГД	101	120	123	4,5	3,01	1,9
Al-20Sn	(600 °C; 1 ч) + ГД	66	80	100	> 30	3,08	< 1
KM21	(570 °C; 1 ч)	-	-	-	-	2,96	13,7
	(620 °C; 1 ч)	-	-	-	-	3,03	11,6
	(620 °C; 1 ч) + ГД	97	119	129	> 30	3,43	< 1

При сухом трении окружённые оловянной оболочкой твёрдые частицы плохо ею удерживались и слабо воспринимали нагрузку от поверхностных неровностей дорожки трения стального контртела. Как следствие, износостойкость KM21 была ниже, несмотря на хорошую их пластичность и прочность при испытаниях на сжатие. То есть, при сухом трении важной характеристикой является прочность на сдвиг, а также ударная вязкость композиционного материала.

Из проделанной работы можно сделать следующие выводы:

- спечённый при 570 °C и допрессованный при 250 °C композит состава (Al-9Si)-20Sn демонстрирует при сухом трении по стали более высокую износостойкость, чем базовый сплав Al-20Sn;
- композит с таким же (20 %) содержанием олова, но дополнительно легированный железом (8 %) после спекания и допрессовки демонстрирует при сухом трении износостойкость, равную базовому сплаву.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021-0006.

Список используемых источников:

1. Буше Н.А. и др. Подшипники из алюминиевых сплавов. М.: Транспорт, 1974, 256 с.
2. Liu X., Zeng M.Q., Ma Y., Zhu M. Promoting the high load-carrying capability of Al-20 wt% Sn bearing alloys through creating nanocomposite structure by mechanical alloying // Wear. 2012. V. 294-295. P. 387-394.
3. Asif M., Chandra K., Misra P.S. Development of aluminium based hybrid metal matrix composites for heavy duty applications // Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering. 2011. V. 10. N 14. P. 1337-1344.

4. Basavarsjappa S., Chandramohan G., Mukund K., Ashwin M., Prabu M. Dry sliding wear behavior of Al 2219/SiC-Gr hybrid metal matrix composites // Journal of Materials Engineering and Performance. 2006. V. 15(6). P. 668-674.
5. Русин Н.М., Савицкий А.П., Тушинский Л.И., Попелюх А.И. Механические и триботехнические свойства спечённых сплавов системы алюминий-железо // Перспективные материалы. 1998. N 4. С. 42-49.
6. Rameshkumar T., Rajendran I. Mechanical and tribological properties on Al-Sn-Si alloy-based plan bearing material // Tribology Transactions. 2013. V. 56. N 2. P. 268-274.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПА НАГРЕВА НА ПРОЦЕСС ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО СИНТЕЗА В СИСТЕМЕ Ti-AL-C

*А.В. Собачкин¹, а, к.т.н., А.Ю. Мясников^{1, 2}, А.А. Ситников¹, д.т.н., проф.
¹Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова
656038, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. 8 (3852) 29-08-15*

*²Институт химии твердого тела и механохимии Сибирского отделения
Российской академии наук
630128, г. Новосибирск, ул. Кутателадзе, 18
E-mail: anicpt@rambler.ru*

Аннотация: В работе реализовали высокотемпературный синтез в системе Ti-Al-C с помощью индукционного нагрева на СВЧ-установке. СВЧ-установка позволяет изменять выходную мощность, в результате меняется темп нагрева порошковых реагентов. Мощности индуктора, обеспечивающей темп нагрева механокомпозитов на уровне 3 К/с, не хватает для того, чтобы синтез МАХ-фаз прошел в полном объеме. Поэтому для дальнейших исследований мощность индуктора была увеличена, чтобы обеспечить темп нагрева порошковой смеси на уровне 7,4...8,8 К/с. Дальнейшее увеличение мощности индуктора приводит к нестабильной реализации СВС.

Abstract: In this work, we implemented high-temperature synthesis in the Ti-Al-C system using induction heating on a microwave installation. The microwave installation allows you to change the output power, as a result, the heating rate of the powder reagents changes. The power of the inductor, which provides the heating rate of the mechanocomposites at the level of 3 K/s, is not enough for the synthesis of the MAX-phases to take place in full. Therefore, for further research, the power of the inductor was increased to ensure the heating rate of the powder mixture at the level of 7.4...8.8 K/s. Further increase in the power of the inductor leads to an unstable implementation of the SHS.

Ключевые слова: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, механическая активация, МАХ-фазы, темп нагрева.

Keywords: self-propagating high-temperature synthesis, mechanical activation, MAX-phases, heating rate.
Введение

На сегодняшний день перспективно использовать материалы и покрытия на основе МАХ-фаз в производстве неохлаждаемых узлов газотурбинного двигателя (например, лопатки, ротор, сопло); высокотемпературной фурнитуры; термо- и коррозионностойких покрытий; деталей узлов трения нефтепогружных насосов и др.

Особое внимание уделяется МАХ-фазам, в состав которых входит Ti [1]. В частности, Ti₃AlC₂ является единственной керамикой, которая обладает некоторой пластичностью при сжатии при комнатной температуре, поэтому получению МАХ-фаз в системе Ti-Al-C стоит уделить особое внимание.

Большинство известных способов получения МАХ-фаз в системе Ti-Al-C имеют определенные недостатки. Материалы на основе МАХ-фаз получают различными способами, но их главные недостатки – значительное количество трудоемких и длительных технологических операций [2].

Альтернативным способом получения МАХ-фаз является самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). СВС позволяет снизить количество операций по получению целевого продукта, а также уменьшить затраты энергии [3, 4].

Однако, при синтезе МАХ-фаз системы в системе Ti-Al-C традиционными методами СВС имеется ряд проблем, связанных с тем, что продукт реакции не контролируется и полученные соединения являются полифазными, что значительно ухудшает эксплуатационные характеристики материалов и покрытий на их основе. В этой связи актуальным является вопрос получения монофазного продукта синтеза.

Одним из способов целенаправленного воздействия на порошковую смесь для СВС является механическая активация (МА), позволяющая реализовать идеальный контакт между реагентами

и повысить реакционную способность смеси. Рядом исследователей установлено, что состав продукта реакции МАСВС существенным образом отличается от такового, полученного традиционным способом при тех же самых условиях проведения синтеза [5-7]. Синтез в механокомпозитах можно реализовать в режиме теплового взрыва. При этом, скорость нагрева реагентов существенно влияет на фазовый состав целевого продукта. В этой связи целью работы является установление влияния темпа нагрева порошковых реагентов на фазовый состав продуктов реакции.

Объекты и методы исследований

Исходными компонентами для проведения СВС были порошок титана ПТК-1 дисперсностью 100...200 мкм, порошок алюминия ПА-3 дисперсностью 63...100 мкм и порошок углерода в виде графита. Для проведения исследований использовали состав (мас. %): 80% Ti + 12% Al + 8% C.

Механическую активацию проводили с помощью планетарной шаровой мельницы АГО-2С. Исходя из проведенных экспериментальных работ по высокотемпературному синтезу механоактивированных порошков системы Ti-Al [8-10], были выбраны следующие режимы механической активации: время 7 мин., энергонапряженность 40 г.

Для реализации высокотемпературного синтеза использовали установку нагрева сверхвысокой частоты.

Фазовый состав продуктов реакции идентифицировали с помощью дифрактометра рентгеновского общего назначения ДРОН-6.

Результаты и обсуждение

На рисунке 1, а) представлена термограмма синтеза в механокомпозите 80% Ti + 12% Al + 8% C при установленной минимальной выходной мощности СВЧ-индуктора.

Темп нагрева при реализации СВС на этих режимах составил порядка 3 К/с, реакция инициировалась при температуре порядка 540 °С, максимальные температуры СВС-процесса зафиксированы на уровне 740 °С. Таким образом, даже при минимальной мощности СВЧ-индуктора инициирование теплового взрыва происходит в твердой фазе, не достигая температур плавления самого легкоплавкого компонента системы – алюминия.

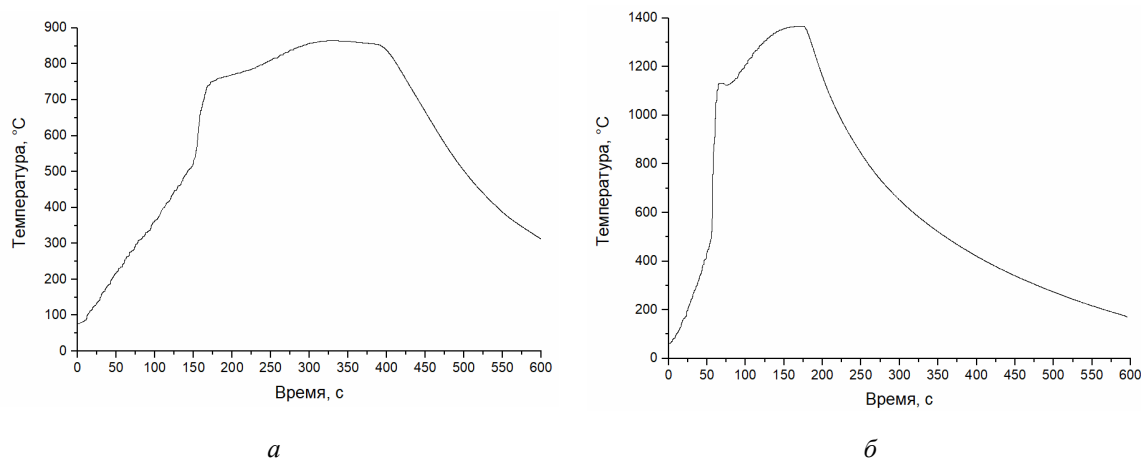


Рис. 1. Характерная термограмма теплового взрыва в системе Ti-Al-C:
а – темп нагрева 3 К/с, б – темп нагрева 8 К/с

На рисунке 2, а) приведена дифрактограмма продуктов синтеза при минимальной мощности индуктора. На дифрактограмме идентифицируются отражения МАХ-фаз Ti_2AlC , Ti_3AlC_2 , карбид титана TiC , а также непрореагировавшие исходные компоненты. Результаты синтеза при увеличении темпа нагрева до 8 К/с приведены на рисунке 2, б). В продукте реакции преобладают МАХ-фазы Ti_2AlC и Ti_3AlC_2 , но наблюдается присутствие незначительного количества TiC и C.

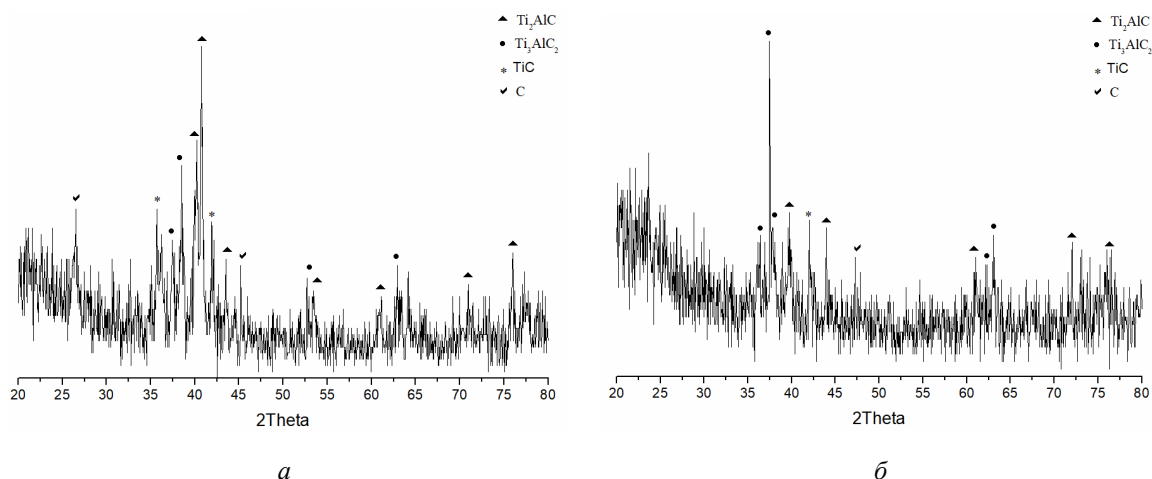


Рис. 2. Дифрактограмма продукта синтеза из состава 80% Ti + 12% Al + 8% C:
а – темп нагрева 3 К/с, б – темп нагрева 8 К/с

Выводы

Мощности индуктора, обеспечивающего темп нагрева 3 К/с, не хватает для того, чтобы синтез МАХ-фаз прошел в полном объеме. Поэтому для дальнейших исследований мощность индуктора была увеличена, чтобы обеспечить темп нагрева порошковой смеси на уровне 7,4...8,8 К/с (рис. 1, б). Дальнейшее увеличение мощности индуктора приводит к нестабильной реализации СВС.

Работа выполнялась в рамках государственного Задания FZMM-2020-0002 и гранта Президента РФ (соглашение 075-15-2020-234).

Список используемых источников:

1. Федотов А.Ф., Амосов А.П., Латухин Е.И., Ермошкин А.А., Давыдов Д.М. Влияние газифицирующих добавок на фазовый состав продуктов горения при самораспространяющемся высокотемпературном синтезе МАХфаз в системе Ti-C-Al // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т. 16. № 6. С. 50–55.
2. Федотов А.Ф., Амосов А.П., Ермошкин А.А., Лавро В.Н., Алтухов С.И., Латухин Е.И., Давыдов Д. М. Состав, структура и свойства СВС-прессованных катодов системы Ti-C-Al-Si и полученных из них вакуумно-дуговых покрытий // Известия вузов. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. 2013. № 2. С. 29–36.
3. Амосов Е.А., Ковалев Д.Ю., Латухин Е.И., Коновалихин С.В., Сычев А.Е. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез в системе Ti-AL-C-B // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия технические науки. 2017. № 2 (54). С. 161–190.
4. Zhou A., Wang CA., Ge Z., Wu L. Preparation of Ti₃AlC₂ and Ti₂AlC by self-propagating high-temperature synthesis // Journal of Materials Science Letters. 2001. Vol. 20. P. 1971–1973.
5. Вьюшков Б.В., Левашов Е.А., Ермилов А.Г., Питюлин А.Н., Боровинская И.П., Егорычев К.Н. Об особенностях влияния предварительной механической активации шихты на параметры СВС-процесса, структуру и свойства многокомпонентного кермета марки СТИМ-5 // Физика горения и взрыва. 1994. Т. 30. № 5. С. 63–67.
6. Егорычев К. Н., Курбаткина В.В., Нестеренко Е.Ю. Влияние механического активирования на взаимодействие в системе молибден-кремний // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. 1996. № 1. С. 71–74.
7. Итин В.И., Монасевич Т.В., Братчиков А.Д. Влияние механоактивации на закономерности самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в системе титан-никель // Физика горения и взрыва. – 1997. – Т. 30 – № 5. – С. 48–51.
8. Loginova M., Sobachkin A., Sitnikov A., Yakovlev V., Filimonov V., Myasnikov A., Sharafutdinov M., Tolochko B. In situ synchrotron research of phase formation in mechanically activated 3Ti + Al powder

- composition during high-temperature synthesis under the condition of heating with high-frequency electromagnetic fields // Journal of Synchrotron Radiation. 2019. Vol. 26. Iss. 2. P. 422–429.
9. Loginova M., Sobachkin A., Sitnikov A., Yakovlev V., Filimonov V., Myasnikov A., Sharafutdinov M., Tolochko B., Gradoboev A. Synchrotron in situ studies of mechanical activation treatment and γ -radiation impact on structural-phase transitions and high-temperature synthesis parameters during the formation of γ -(TiAl) compound // Journal of Synchrotron Radiation. 2019. Vol. 26. Iss. 5. P. 1671–1678.
10. Способ получения монофазного интерметаллидного сплава с высокой степенью однородности на основе титана (патент на изобретение) / А.А. Ситников, М.В. Логинова, В.И. Яковлев, В.Ю. Филимонов, А.В. Градобоев, А.В. Собакин // Пат. 2698081 Рос. Федерация : МПК C22C 14/00 (2006.01), B22F 3/24 (2006.01) ; патентообладатель Алтайский государственный технический университет им И.И. Ползунова. – № 2019108654 ; заявл. 26.03.2019 ; опубл. 21.08.2019, Бюл. № 24.

ЛАЗЕРНОЕ ОПЛАВЛЕНИЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ 10P6M5 И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА ПРОЦЕСС ИЗНОСА В ПАРЕ ТРЕНИЯ

*С.Ф. Гнусов, д.т.н., проф., Е.А. Федин^а, магистр,
Томский политехнический университет,
634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56,
^а E-mail: jakson1974@mail.ru*

Аннотация: В работе исследуется интенсивность изнашивания покрытий на основе стали 10P6M5 в триботехническом контакте «колесо – две колодки» после дискретного поверхностного лазерного оплавления в паре трения с термообработанной шарикоподшипниковой сталью. Установлено, что исходное покрытие, имеющее в своем составе большую объемную долю хрупкой составляющей не способно эффективно сопротивляться износу и приводят к преждевременному выкрашиванию больших конгломератов композиционного покрытия. Покрытия после лазерного оплавления в оплавленных участках имеют только 47% мартенсита от общего объема матрицы, что позволяет эффективно релаксировать возникающие напряжения.

Abstract: The paper investigates the wear rate of coatings based on 10R6M5 steel in the tribotechnical contact "wheel - two pads" after discrete surface laser melting in a pair of friction with heat-treated ball bearing steel. It was found that the initial coating, which has a large volume fraction of the brittle component, is not able to effectively resist wear and lead to premature spalling of large conglomerates of the composite coating. The coatings after laser melting in the melted areas have only 47% martensite of the total matrix volume, which makes it possible to effectively relax the arising stresses.

Ключевые слова: Лазерное оплавление, Термообработка, Композиционные покрытия, Пара трения, Износостойкость

Keyword: Laser melting, Heat treatment, Composite coating, Friction pair, Wear resistance

Введение

Актуальной задачей современной техники является увеличение ресурса долговечности деталей пар трения, работающих в условиях высоких динамических нагрузок и дефицита смазки [1-7]. Благодаря высокой твердости, красностойкости и сопротивлению изнашивания быстрорежущие стали остаются перспективным материалом не только для производства различных видов режущих инструментов, но и начинают использоваться для изготовления пуансонов, матриц, армирования валков прокатных станов и пар трения. Результаты многочисленных исследований, описанные в [5, 6], доказывают превосходство литых быстрорежущих сталей по сопротивлению истиранию над деформированными аналогичного химического состава и обработанными на одинаковую твердость.

При испытаниях на износ пары трения «покрытие сталь 10P6M5 – сталь ШХ15» была обнаружена область катастрофического износа (скорость 2,4 и 3,6 м/с и нагрузка 40 – 60 Н). Резкое увеличение износа происходит из-за роста температуры в трибоконтакте, что приводит к повышению пластичности матрицы и обратному $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращению. Это способствует разрушению сетки эвтектических карбидов M_6C .

Лазерное оплавление металлических материалов позволяет получать дисперсную неравновесную структуру в поверхностном объеме за счёт высокоскоростной направленной кристаллизации расплава [8]. Можно предположить, что поверхностное лазерное оплавление композиционных покрытий 10P6M5 в атмосфере воздуха позволит сформировать микрокомпозитную структуру в переплавленном объеме, подобную той, которая формируется в паре трения «покрытие сталь 10P6M5 – сталь ШХ15» в области катастрофического износа. Данные микроструктурные изменения должны исключить область катастрофического износа в паре трения.

Материалы и оборудование

Для поверхностного лазерного оплавления использовали упрочняющее покрытие на основе порошка быстрорежущей стали 10P6M5, полученное методом электронно-лучевой наплавки в вакууме [6]. Для лазерного оплавления (ЛО) образцов применялась лазерная установка «Blacklight» на основе неодимового лазера с ламповой накачкой и управляемым разрядом. Поверхность наплавки облучалась одиночными импульсами без перекрытия соседних точек.

Испытания на трение проводились на автоматизированном комплексе для трибосопрежений. В ходе статических испытаний использовали схему «колесо – две колодки» при ступенчатом повышении давления P (0.75; 1.5; 2.25 и 3 МПа) и скорости $V = 0.5$ м/с и в условиях граничной смазки (вода). Контртелом служило колесо диаметром 62 мм и шириной 15 мм, изготовленное из закаленной шарикоподшипниковой стали ШХ15 (HRC 63...65). Поверхность покрытия половины образцов подвергалась точечному лазерному оплавлению в шахматном порядке. Доля оплавленной поверхности составляла ~40%. После приработки пары трения при каждом фиксированном давлении проводились четыре эксперимента с путем трения 2000 м. В качестве меры интенсивности изнашивания было использовано отношение объема материала, потерянного образцами в ходе испытания, к дистанции трения ($\text{мм}^3/\text{км}$).

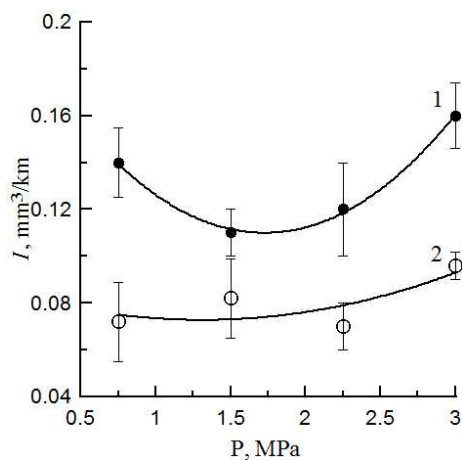


Рис. 1. Интенсивность изнашивания покрытия от давления в триботехническом контакте

Результаты и обсуждения. На рисунке 1 представлена зависимость интенсивности изнашивания исследуемых покрытий на основе стали 10P6M5 от давления в триботехническом контакте «колесо – две колодки» при скорости скольжения 0.5 м/с. Интенсивность изнашивания покрытия после ЛО (кривая 2) во всем интервале давлений на 40 – 60 % ниже, чем исходного покрытия (кривая 1). На рисунке 2 представлены ряд фото поверхностей трения исследуемых образцов и результаты профилометрии от этих поверхностей по линии перпендикулярной направлению скольжения. Анализ поверхностей скольжения свидетельствует о развитии абразивно-окислительном механизме изнашивания. Абразивными частицами служат продукты износа трущихся пар. Для исходного покрытия при давлениях 1.5 и 2.25 МПа наблюдается интенсивное намазывание продуктов износа на поверхность трения, рис. 2, д, е. Данное обстоятельство приводит к некоторому уменьшению интенсивности изнашивания для указанных давлений, (рисунок 1, кривая 1). Одновременно с этим начиная с давления 2.25 МПа на поверхности трения появляются отдельные вытянутые вдоль направления скольжения выкрашивания покрытия. При повышении давления до 3 МПа интенсивность выкрашивания повышается (рисунок 2ж), что резко увеличивает интенсивность изнашивания (кривая 1 на рисунок. 1). Глубина выкрашенных участков, согласно кривым профилометрии ~ 6 мкм, (рисунок 2ж, з).

Для покрытий дополнительно обработанных ЛО как намазывания, так и выкрашивания целых конгломератов покрытия не наблюдается, (рисунок 2, в,г,и,к). Это сохраняет практически неизменной интенсивность изнашивания в рассматриваемом диапазоне давлений, (рисунок 1, кривая 2). По данным РФА поверхностей триботехнического контакта для обоих исследуемых покрытий доля мартенсита от общего объема матрицы практически не изменяется в исследуемом интервале давлений и сохраняется на уровне исходных образцов.

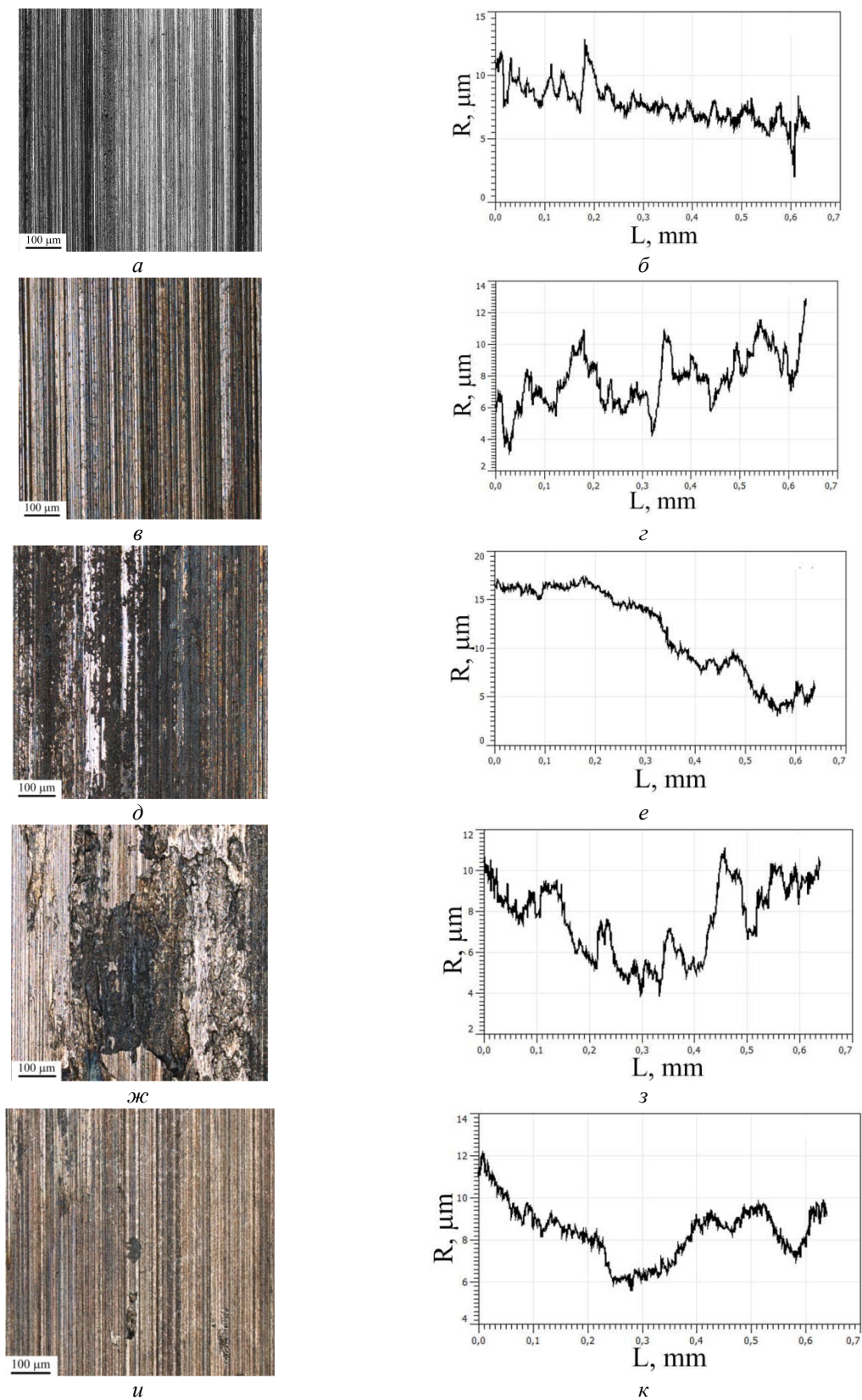


Рис. 2. Структура поверхностей исследуемых покрытий после износа и их профилометрия; *a*–*з* – 0,5 МПа, *д*, *е* – 1,5 МПа, *ж*–*к* – 3 МПа (*a*, *б*, *д* – *з* – исходное покрытие, *в*, *з*, *и*, *к* – покрытие после ЛО)

Выводы

Исходное покрытие, имеющее в своем составе большую объемную долю хрупкой составляющей (~90% мартенсита от общего объема матрицы и карбиды M_6C и VC) не способно эффективно сопротивляться износу и приводят к преждевременному выкрашиванию больших конгломератов композиционного покрытия. Покрытия после ЛО в оплавленных участках имеют только 47% мартенсита от общего объема матрицы, что позволяет эффективно релаксировать возникающие напряжения в этих областях и, следовательно, сохранять малую и не изменяющуюся интенсивность изнашивания в рассматриваемом диапазоне давлений.

Список использованных источников:

1. Phan H. T., Tieu A. K., Zhu H. A study of abrasive wear on high speed steel surface in hot rolling by Discrete Element Method // Tribology International. – 2017. – № 110. – P. 66-76.
2. Xu Liu., Wei Shi., Xing Jian. Effects of carbon content and sliding ratio on wear behavior of high-vanadium high-speed steel (HVHSS) under high-stress rolling-sliding contact // Tribology International. – 2014. – № 70. – P. 34-41.
3. Jia G. W., Hua L., Mao H. J. The influence of surface layer microstructure evolution of M2 steel cold-ring rolling mandrel roller on fatigue crack initiation // Journal of Materials Processing Technology. – 2007. – № 187-188. – P. 562-565.
4. Mingiia W., Songmei Mu, Feifei S. Influence of Rare Earth Elements on Microstructure and Mechanical Properties of Cast High-speed Steel Rolls // Journal of Rare Earth. – 2007. – № 25. – P. 490-494.
5. Chaus A. S., Hudakova M. Wear resistance of high-speed steels and cutting performance of tool related to structural factors // Wear. – 2009. Vol. 267. P. 1051-1055.
6. Gnyusov S.F., Ignatov A.A., Durakov V.G., Tarasov S. Yu. The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel // Applied Surface Science. – 2012. – № 263. – P. 215-222.
7. Gnyusov S.F., Tarasov S. Yu. Structural phase states and heat aging of composite electron-beam clad coatings // Surface & Coatings Technology. – 2013. № 232. P. 775-783.
8. Ion, John. Laser Processing of Engineering Materials - Principles, Procedure and Industrial Application. Elsevier. – 2005. 585 p.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СПОСОБ УПЛОТНЕНИЯ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

С.А. Теслев, Е.П. Теслева, к. ф.- м. н., доц., Д.У. Досумкулов, студ.

*Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

Аннотация: Рассматривается использование пневматического способа уплотнения микрокремнезема для получения продукции большой плотности и низкой слипаемости.

Abstract: The use of a pneumatic method for compacting microsilica to produce products of high density and low stickiness is considered.

Ключевые слова: производство ферросилиция, микрокремнезем, слипаемость микрокремнезема.

Keyword: production of ferrosilicon, microsilicon, adhesion of microsilicon.

В процессе производства ферросилиция, помимо основного формируется побочный продукт – микрокремнезем, который представляет собой мелкодисперсные частицы диоксида кремния (SiO_2) [1-3]. Образование микрокремнезема происходит из основного компонента шихты – кварцита, который в процессе температурного воздействия в рудовосстановительной печи окисляется и вместе с печными газами отводится в газоочистный комплекс. Печной газ с пылью проходит первую ступень очистки в циклонах, в которых происходит эффективное осаждение (улавливание) крупных посторонних включений, после чего чистый микрокремнезем осаждается в системе фильтров, поступает в установку уплотнения пыли и далее в установку упаковки.

Существует 2 вида микрокремнезема: неуплотненный с плотностью до $0,3 \text{ т/м}^3$ (маркировка МК) и уплотненный с плотностью от $0,3$ до $0,8 \text{ т/м}^3$ (маркировка МКУ). Диоксид кремния применяется как компонент при производстве бетона и цементосодержащих смесей, а также при производстве фасадных панелей, керамической плитки и др., увеличивая их прочность, коррозионную устойчивость, влагостойкость, морозостойкость [4-5].

Количество уловленной пыли, ее химический состав, содержание основного элемента – диоксида кремния (SiO_2), напрямую зависит от технологического хода печи и извлечения кремния в сплав. Чем лучше технологический ход печи, тем меньше возгонка микрокремнезема и ниже процентное содержание SiO_2 . Жесткий контроль содержания диоксида кремния в готовой продукции обусловлен требованиями предъявляемыми потребителями материала, которое может варьироваться от 85% до 92%. Это связано с применением микрокремнезема на особо ответственных и сложных объектах (портовые причалы и сооружения, строительство высотных зданий, небоскребов и других объектов). Особые требования по посторонним включениям предъявляют потребители, где микрокремнезем применяют для производства панелей фасадов зданий, т.к. при колеровке посторонние включения дают локальные изменения цветности изделий. Отдельные потребители предъявляют требования к слипаемости материала, т.к. введение микрокремнезема в состав смесей пневмонасосами, приводит к налипанию микрокремнезема на участках с крутыми поворотами пневмотрасс.

Изменение плотности продукции производится в установке уплотнения, которая позволяет либо усреднять микрокремнезем по химическому и физическому составу, полученный с разных ферросплавных печей, либо производить селекционный отбор материала необходимого качества по заданным условиям.

С целью выявления факторов, влияющих на склонность уплотненного микрокремнезема марки МКУ к слипаемости на ОСП «ЮФЗ» были проведены две опытно-промышленные кампании. Первая опытная кампания получения микрокремнезема по экспериментальной технологии (без подачи «свежей» пыли во время уплотнения). Одним из отличий экспериментальной технологии является интенсификация продувки с увеличением расхода сжатого воздуха с 800 – 1000 (при стандартной технологии) до 1200 – 1500 $\text{м}^3/\text{час}$.

Определение разрывной прочности пылевого слоя проб опытного МКУ показало среднюю степень слипаемости. Для сравнения была определена разрывная прочность пылевого слоя для образца рядовой МКУ и ряда образцов МКУ иностранного производства. Усредненные значения разрывной прочности приведены в таблице 1.

Таблица 1

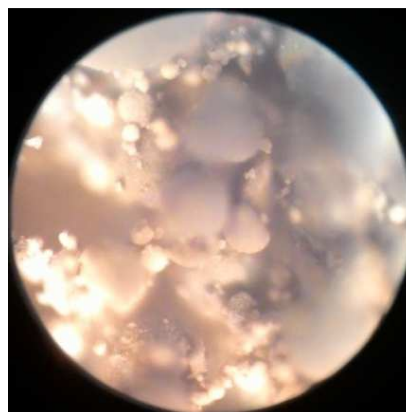
Усредненные значения разрывной прочности и оценка слипаемости образцов микрокремнезема марки МКУ

Наименование образца	Влажность, %	Плотность, кг/м^3	Усредненная разрывная прочность, Па	Оценка слипаемости
«опытный»	0,09	0,66	146	Средняя слипаемость
«рядовой»	0,2	0,63	369	Высокая слипаемость
«Китай»	0,52	0,64	Ниже порога чувствительности метода	Низкая слипаемость

На рисунке 1 приведены фотографии образцов микрокремнезема, выполненных при помощи металлографического микроскопа. Из рисунка видно, что каждый из образцов содержит крупные сферические частицы, между которыми располагаются гораздо более мелкие частицы неуплотненного (слабоуплотненного) микрокремнезема. В образце «Китай» мелких неуплотненных частиц практически нет. Образец «неуплотненный» полностью состоит из неуплотненных частиц.



а – «опытный»



б – «рядовой»



в – «Китай»



г – неуплотненный

Рис. 1. Фотографии структуры образцов микрокремнезема

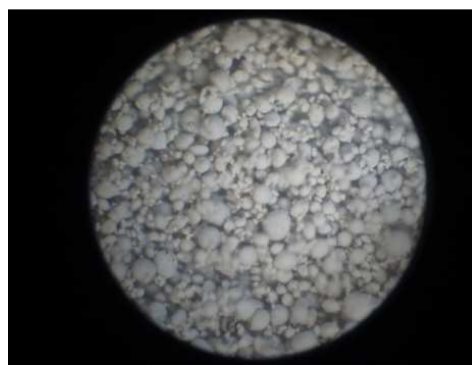
Оценив количество неуплотненных частиц каждого образца и сравнив с разрывной прочностью, была установлена следующая зависимость – чем больше мелких неуплотненных частиц в образце МКУ, тем выше разрывная прочность и склонность к слипаемости.

При проведении второй опытной кампании наряду с увеличением расхода сжатого воздуха до 1200–1500 м³/час увеличили длительность продувки в два раза.

Полученные в ходе второй опытной кампании образцы микрокремнезема экспериментальной партии были исследованы на степень слипаемости и на наличие мелких частиц.



а



б

*Рис. 2. Фотографии структуры образцов микрокремнезема двух опытных кампаний
а – микрокремнезем опытной кампании №1, б – микрокремнезем опытной кампании №2*

Анализируя рисунки 2а и 2б можно сделать вывод, что в микрокремнеземе кампании № 1 больше крупных и мелких частиц, а в микрокремнеземе кампании № 2 больше средних частиц. Причиной такого явления может являться дополнительная продувка силоса в течение 5 суток после достижения максимальной насыпной плотности с увеличением расхода воздуха. При этом происходило укрупнение мелкодисперсных частиц в более крупные агломераты, имеющие меньшую слипаемость по сравнению с частицами микрокремнезема первой опытной кампании.

Выводы:

Использование пневматического способа уплотнения микрокремнезема позволяет:

- получать конечный продукт без изменения кристаллической структуры зерна, по сравнению с механическим уплотнением. Микрокремнезем полученный пневматическим способом имеет более высокую площадь поверхности частицы и индекс активности;
- гибко регулировать степень уплотнения конечного продукта, в зависимости от запросов потребителя с получением необходимого количества материала постоянной плотности.

Применяемая конструкция системы уплотнения и упаковки микрокремнезема позволяет:

- усреднить или селективно отобрать материал по химическому и физическому составу;
- вести непрерывный процесс уплотнения и упаковки материала;
- при необходимости в отдельно выбранных силосах производить микрокремнезем циклическим способом;
- - одновременно, в разных силосах, производить материал различного по плотности сортамента;
- система представляет полный закрытый цикл от сбора пыли до выдачи готовой продукции без применения промежуточной тары и транспорта для перевозки;
- гибко реагировать на запросы потребителей;
- производство уплотненного микрокремнезема с пониженной слипаемостью требует увеличенного расхода сжатого воздуха и времени производства, для реализации которого необходима модернизация воздухообеспечения предприятий.

Список используемых источников:

1. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушева А.М. Общая металлургия: учебник для вузов. 6-изд., перераб и доп.-М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 768 с.:253 ил.
2. Теслев С.А., Теслева Е.П., Халтурина Д.В. Использование ископаемых углей при производстве ферросилиция // Инновационные технологии в машиностроении: сборник трудов IX Международной научно-практической конференции, Юрга, 24-26 Мая 2018. - Томск: Изд-во ТПУ, 2018 - С. 94-96.
3. Чашин. Г.А., Кашлев И.М., Ефимов Г. П., Богдарев А.А. Освоение технологии производства товарного продукта .– уплотненного микрокремнезема // Металлург, 2009. С. 57-58.
4. ЛоховаН.А., МакароваИ.А., ПатраманскаяС.В. Обжиговые материалы на основе микрокремнезема. – Братск: БрГТУ, 2002. – 163 с., ил.
5. Бельский С.С., Бараускас А.Э. Микрокремнезем. свойства и применение // Перспективы развития технологии переработки углеродных и минеральных ресурсов, Иркутск, 19–20 апреля 2017 года. 2017. С. 74-76.

СЕКЦИЯ 2: ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ НЕРАЗЪЕМНЫХ СОЕДИНЕНИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

ПРИМЕНЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРНЫМ СОСТОЯНИЕМ БРОНЗЫ, НАПЕЧАТАННОЙ МЕТОДОМ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОГО АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Е.С. Хорошко, м.н.с., А.В. Филиппов, к.т.н, с.н.с., Н.Н. Шамарин, м.н.с.
Институт физики прочности и материаловедения СО РАН,
634055, г. Томск, пр. Академический, 2/4, тел. (3822)-49-18-81
E-mail: avf@ispms.ru*

Аннотация: В работе представлены результаты экспериментального исследования влияния деформационной обработки на структуру бронз, напечатанных методом электронно-лучевого аддитивного производства. С помощью методов оптической металлографии исследована структура образцов в продольном сечении. Установлены размеры зерен. На основе выполненных исследований доказана возможность управления структурным состоянием напечатанных тонкостенных образцов. Применение деформационной обработки позволяет устранить формирование столбчатых дендритных зерен и обеспечивает формирование рекристаллизованной структуры.

Abstract: The paper presents the results of an experimental study of the effect of deformation processing on the structure of bronzes printed by electron-beam additive manufacturing. Using the methods of optical metallography, the structure of the samples in the longitudinal section is investigated. The sizes of the grains are determined. On the basis of the performed studies, the possibility of controlling the structural state of printed thin-walled samples has been proved. The use of deformation processing eliminates the formation of columnar dendritic grains and ensures the formation of a recrystallized structure.

Ключевые слова: бронза, аддитивное производство, микроструктура.

Keywords: bronze, additive manufacturing, microstructure.

За последние годы аддитивное производство получило значительное распространение в современной промышленности [1, 2]. С помощью технологий лазерного спекания, электродуговой наплавки и электронно-лучевого производства производств разнообразные изделия из металлов, сплавов, пластиков и даже керамики.

Бронза является одним из широко распространенных сплавов меди. В качестве легирующих элементов используются алюминий, железо, никель, кремний, марганец, хром и многие другие элементы. Алюминиевые и кремниевые бронзы используются в пищевой, химической промышленности, в машино- и судостроительном производстве. Это обусловлено их хорошими механическими свойствами, высокой коррозионной стойкостью и износостойкостью.

Аддитивное производство изделий из медных сплавов сопряжено с большими трудностями. Прежде всего медь является материалом поглощающим энергию лазерного излучения. Из-за этого приходится использовать высоко мощные и дорогостоящие лазерные установки. Также важной проблемой является склонность к газопоглощению сплавом в жидком состоянии, которое приводит к окислению материала и снижению его физико-механических свойств. В связи с этим важной задачей является выбор рациональных методов и способов печати медных сплавов, исключающих указанные проблемы. Другой важной проблемой является образование столбчатых дендритных зерен в структуре литой бронзы при её медленной кристаллизации. Такая структура характеризуется низкой прочностью и неоднородностью механических свойств. Поэтому разработка и анализ методов управления структурным состоянием напечатанных изделий является важной задачей для современного материаловедения и аддитивного производства.

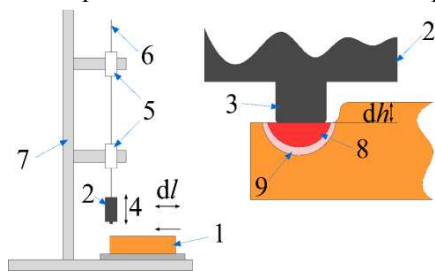


Рис. 1. Схема осуществления деформационной обработки бронзы, напечатанной методом электронно-лучевого аддитивного производства

Целью данной работы является экспериментальное исследование возможности применения метода деформационной обработки для управления структурным состоянием бронз БрА7 и БрКМц 3-1, напечатанных методом электронно-лучевого аддитивного производства.

Образцы для проведения исследований получены с использованием проволоочной технологии электронно-лучевого аддитивного производства. Использовали проволоки сплавов БрА7 и БрКМц 3-1. Печать осуществлялась в условиях высокого вакуума. Деформационная обработка осуществлялась на специальном стенде (Рис. 1), путем ударного воздействия свободно падающего груза

на поверхность напечатанного материала. Исследования структуры выполнены на оптическом металлографическом микроскопе Метам.

В процессе обработки образец 1 деформируется ударником 3, закрепленным на свободно падающем грузе 2, которые крепится к штоку 6, который свободно перемещается в подшипниках 6, закрепленных в стойке 7. В результате удара происходит пластическое 8 и упругое 9 деформирование, напечатанных слоев материала образца (Рис. 1). После обработки предварительно выращенных слоев образец помещается в принтер и вновь производится печать. На рисунке 2 приведены изображения структуры образцов бронз БрА7 и БрКМц 3-1, напечатанных с использованием деформационной обработки и её увеличенные фрагменты в нижней, средней и верхней части образцов. Из полученных данных видно, что деформация и последующая рекристаллизация структуры привели к формированию зерен с равноосной формой и двойниками отжига. В обработанном объеме материала столбчатых дендритных зерен не наблюдается. Они присутствуют только в верхней части образцов, которая не была подвержена деформационной обработке и где рекристаллизация не возможна. В бронзе БрКМц 3-1 в месте с равноосными зернами наблюдаются вытянутые, которые формируются из-за термоциклирования образца.

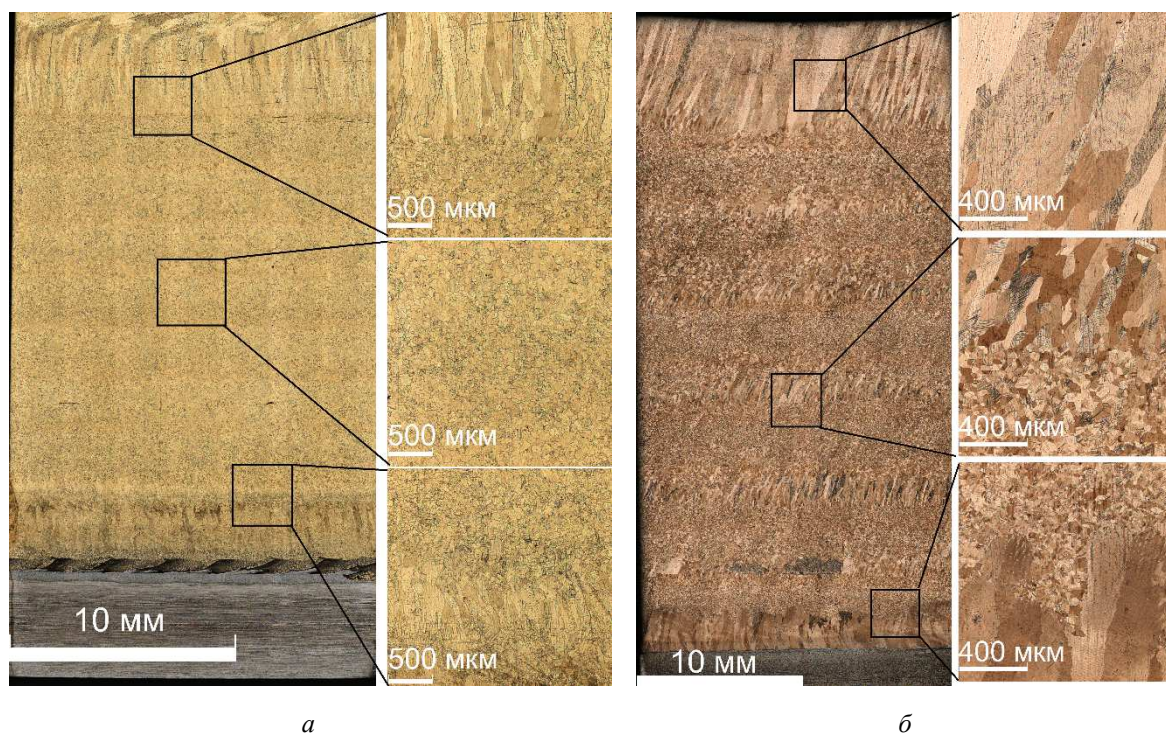


Рис. 2. Структура стенок бронзы БрА7 (а) и БрКМц 3-1 (б), напечатанных с применением деформационной обработки

Выводы

Впервые успешно применен метод деформационной обработки бронз БрА7 и БрКМц 3-1 для управления их структурным состоянием в процессе электронно-лучевого аддитивного производства. Показано, что использование деформационной обработки позволяет устранить формирование столбчатой дендритной структуры, которая является не желательной для производства промышленным сплавов. В бронзе БрА7 сформирована структура с рекристаллизованными зернами и двойниками отжига. В бронзе БрКМц 3-1 сформирована бимодальная структура, состоящая из рекристаллизованных зерен с формой близкой к равноосной и вытянутых неравноосных зерен.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-38-90130.

Список используемых источников:

1. Murr LE. Metallurgy of additive manufacturing: Examples from electron beam melting. Addit Manuf 2015;5:40–53. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2014.12.002>.
2. Murr LE, Gaytan SM, Ramirez DA, Martinez E, Hernandez J, Amato KN, et al. Metal Fabrication by Additive Manufacturing Using Laser and Electron Beam Melting Technologies. J Mater Sci Technol 2012; 28:1–14. [https://doi.org/10.1016/S1005-0302\(12\)60016-4](https://doi.org/10.1016/S1005-0302(12)60016-4).

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ БИМЕТАЛЛА СТАЛЬ 45+P6M5, ПОЛУЧЕННОГО СВАРКОЙ ВЗРЫВОМ

В.Г. Пинаев, к.т.н., с.н.с., доц.,

*Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова,
656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8-903-912-25-48,*

E-mail: pvgbel@mail.ru

Аннотация: Исследована структура зоны соединения инструментального биметалла сталь 45+P6M5, выявлены участки литых включений с высокой твердостью, определен их химический состав. На образцах с химическим составом, соответствующему материалу литых включений и подвергнутых термической обработке (отжигу) на разных режимах проведены дилатометрические исследования с замером твердости. Определен оптимальный режим термической обработки биметалла сталь 45+P6M5.

Abstract: The structure of the joint zone of the tool bimetal steel 45+P6M5 is investigated. Areas of cast inclusions with high hardness were identified, and their chemical composition was determined. Dilatometric studies with hardness measurement were carried out on samples with a chemical composition corresponding to the material of cast inclusions and subjected to heat treatment (annealing) in different modes. The optimal mode of heat treatment of steel 45+R6M5 bimetal is determined.

Ключевые слова: Инструментальный биметалл, сварка взрывом, зона соединения, литые включения, микроструктура, твердость, дилатометрия, термическая обработка, отжиг.

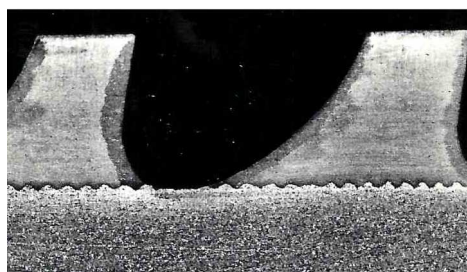
Keyword: Tool bimetal, explosiv welding, joint area, cast inclusions, microstructure, hardness, dilatometry, heat treatment, annealing.

Экономия дорогостоящих и дефицитных материалов традиционно актуальна в современном машиностроении. Одним из перспективных направлений при этом является применение биметаллов, в которых основной, более толстый слой, выполнен из обычных конструкционных материалов, а плакирующий слой – из материалов с необходимыми служебными свойствами. Характерными представителями композиций такого типа являются инструментальные биметаллы.

При получении биметаллов с развитой поверхностью плакирования из всех процессов наплавки и плакирования наиболее предпочтительным является процесс сварки взрывом, характеризующийся высокой производительностью и отсутствием дорогостоящего специализированного оборудования. С целью получения максимальной экономии при изготовлении из биметалла такого металлоемкого инструмента, как плоские протяжки, тангенциальные и призматические резцы и т.п. была разработана технология производства сваркой взрывом инструментального биметалла [1-3]. Одним из типичных представителей такого биметалла является композиция сталь 45+P6M5 (Рис. 1).



а



б

*Рис. 1. Биметаллическая плоская протяжка
а – общий вид; б – режущие элементы, х6*

После сварки взрывом биметаллические заготовки подвергаются термической обработке (отжигу) для снятия внутренних напряжений, а так же снижения твердости литых включений (Рис. 2), неизбежно возникающих на границе соединения при плакировании больших площадей [4]. Микротвердость литых участков достигает 7000 Н, что затрудняет изготовление и механическую обработку биметаллического инструмента. Отжиг, как правило, производят по режимам быстрорежущей стали, что не оправдано. Продолжительный высокотемпературный (850°C) отжиг приводит к излишнему расходу электроэнергии и потерям металла в виде окалина и обезуглероженного поверхностного слоя. Кроме того, после отжига значительно снижаются прочностные свойства биметаллического соединения до 390 МПа против 660 МПа после сварки взрывом.

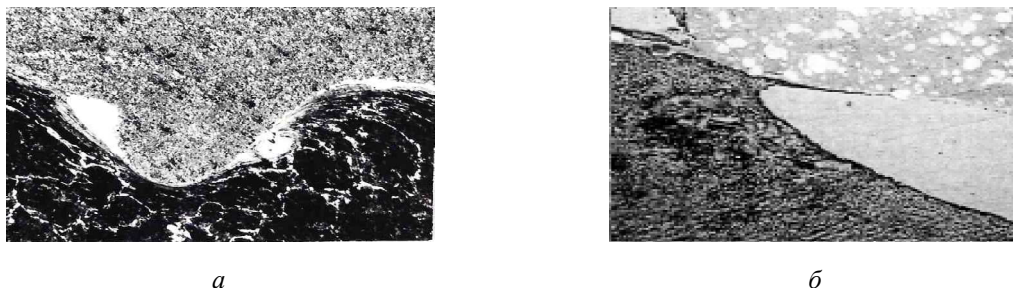


Рис. 2. Микроструктура переходной зоны биметалла сталь 45+Р6М5 после сварки взрывом; а – $\times 200$; б – $\times 750$

С целью выбора обоснованных режимов термической обработки биметалла сталь 45+Р6М5 определяли химический состав литых включений, а так же проводили дилатометрические исследования с измерением твердости образцов из стали, соответствующей по химическому составу этим участкам.

Микрорентгеноспектральный анализ различных участков литых включений показал большой разброс значений их химического состава по основным легирующим элементам. В зависимости от режимов сварки взрывом и места расположения литых включений в зоне соединения доля участия плакирующего слоя стали Р6М5 составляла 19...83 %.

В лабораторной индукционной печи была выплавлена сталь У7В5Х4М4Ф, по химическому составу соответствующая наиболее легированному участку литых включений. (0,7 % С; 0,19 % Si; 0,25 % Mn; 4 % Cr; 5,3 % W; 0,94 % V; 4,2 % Mo). Содержание углерода было выбрано пропорционально доле участия стали Р6М5 в составе литых включений.

Для определения влияния температуры отжига на процессы, происходящие в закаленной стали У7В5Х4М4Ф, были проведены дилатометрические исследования на дилатометре Шевенара (Рис. 3). Образцы сечением 3х3, длиной 50 мм были закалены от 1100 оС в масле и перед исследованием подвергались взрывному нагружению по режиму, соответствующему режиму сварки взрывом биметалла сталь 45+Р6М5.

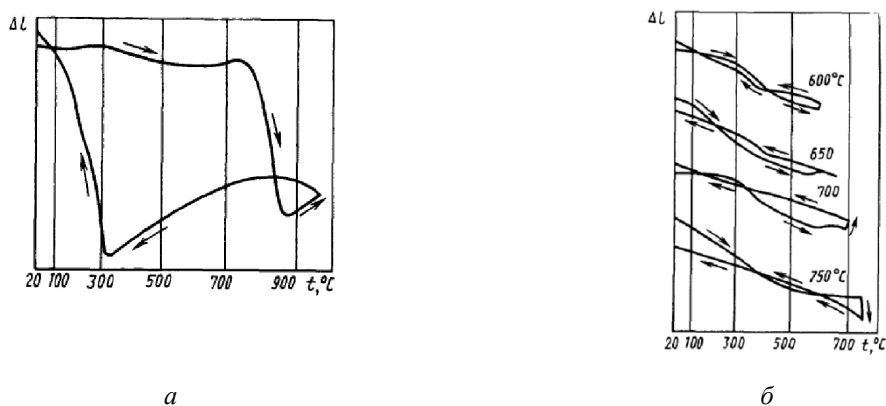


Рис. 3. Дилатометрические кривые стали У7В5Х4М4Ф
а – нагрев и охлаждение; $v_n=150$ оС/ч; $v_{охл}=40$ оС/мин;
б – изотермический отжиг при различных температурах

Кривая нагрева закаленного и обработанного взрывом образца показывает, что в структуре наряду с мартенситом имеется остаточный аустенит. Его распад сопровождается увеличением объема образца в интервале температур 200 – 300 °С и 600 – 750 °С. Выше 750 °С объем образца резко уменьшается и на $\alpha \rightarrow \gamma$ -превращение накладывается процесс выделения карбидов и их коагуляция. Критическая температура $A_{c3}=850 - 870$ °С.

При охлаждении аустенит превращается в мартенсит ($M_n=300 - 320$ °С), причем превращение не заканчивается при нормальной температуре.

В процессе изотермического отжига превращения происходят как во время выдержки, так и при охлаждении. Характер и интенсивность превращений зависят от температуры отжига. Исследовали превращения в стали У7В5Х4М4Ф после закалки и отжига при $t_{отж}=600, 650, 700, 750$ °С.

Увеличение длины образца в процессе изотермической выдержки при 600 °С 1,5 ч свидетельствует о том, что объемный эффект распада остаточного аустенита (увеличение объема) преобладает над объемным эффектом, сопровождающим выделение карбидов. Однако в процессе изотермической выдержки не весь остаточный аустенит распадается. Его превращение происходит при охлаждении в интервале температур бейнитно-мартенситного превращения (400 – 300 °С) и сопровождается увеличением объема.

В процессе изотермической выдержки при 650 °С длина образца не изменяется - объемные эффекты, связанные с распадом остаточного аустенита и выделением карбидов уравниваются. При охлаждении остаточный аустенит распадается аналогично предыдущему случаю, но величина эффекта превращения меньше.

Увеличение длины образца в процессе изотермической выдержки при 700 °С свидетельствует о преобладании объемного эффекта распада остаточного аустенита над эффектом, вызванным выделением карбидов. При охлаждении образца на кривой отсутствуют перегибы, т. е. при охлаждении превращений не происходит.

Дальнейшее повышение температуры отжига до 750 °С приводит к уменьшению длины образца в процессе выдержки. При этой температуре происходит интенсивное образование карбидов, их коагуляция, уменьшение внутренних напряжений. Сопровождающий эти процессы объемный эффект преобладает над объемным эффектом распада остаточного аустенита. При охлаждении превращений не происходит.

В соответствии с протекающими при различных температурах отжига превращениями изменяется твердость образцов, которая приведена ниже.

$t_{отж}, ^\circ\text{C}$	HRC _э
600	56
650	52
700	39
750	25

Отжиг при 750 °С обеспечивает получение твердости 25 HRC_э, что соответствует твердости стали Р6М5 в состоянии поставки.

Измерение микротвердости литых включений в сваренном взрывом соединении сталь 45+Р6М5 при нагрузке 0,5 Н показали, что после отжига при 750 °С 1,5 ч твердость составила 3000 Н, что не вызывает затруднений при механической обработке биметалла в процессе изготовления инструмента. Снижение температуры отжига благоприятно сказалось на прочности сварки слоев в биметалле. После отжига 750 °С прочность соединения слоев на отрыв составила 512 Мпа.

Таким образом, в результате исследований выбраны оптимальные режимы отжига биметалла сталь 45+Р6М5, что позволило снизить затраты на изготовление из него различного инструмента.

Список используемых источников:

1. Пинаев В.Г., Кирюшов В.В. Биметалл для металлорежущего инструмента // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1988. № 9. С. 44-45.
2. Пинаев В.Г., Кирюшов В.В., Гладкий П.В. Эффективность и опыт применения сварки взрывом для инструментального производства // Сварка, резка и обработка сварных соединений взрывом: Сб.науч.тр. Киев: ИЭС им. Е.О.Патона. 1987. С. 59-63.
3. Пинаев В.Г., Андрианов В.М. Опыт и перспективы применения биметаллов, полученных сваркой взрывом в судостроении и судоремонте // Ползуновский альманах. 2017. № 1. С. 91-95.
4. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. Сварка взрывом. М.: Машиностроение, 1987. 217 с.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССАМИ НАГРЕВА И РЕЛАКСАЦИИ ОСТАТОЧНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ЗА СЧЕТ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНОЙ СВАРКЕ

О.Б. Скворцов^{1,2,a}, к.т.н., В.И. Сташенко¹, к.ф.-м.н., О.А. Троицкий¹, д.т.н., профессор

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия,

101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д. 4, тел. (499)135-81-20

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин», Россия,

115230, Москва, Варшавское шоссе, 46, тел. (495)120-03-18 доб.152

E-mail: oleg.b.skvorcov@gmail.com^a

Аннотация: В работе рассмотрены возможности управления режимом электроимпульсной сварки металлов с учетом имеющегося вибрационного отклика на воздействие электрического импульса. Вибрационный отклик позволяет в процессе выполнения электроимпульсной сварки воздействовать на структуру металла в области сварного шва. Изменения зернистости, пластичности и величины остаточных механических напряжений обеспечивают возможность управления свойствами и качеством сварки. Рассмотрено влияние амплитуды, длительности, скважности и частоты электрических импульсов на характеристики вибрационного отклика на действие такого импульса.

Annotation: The paper considers the possibilities of controlling the mode of electric pulse welding of metals, taking into account the available vibration response to the effect of an electric pulse. The vibration response allows, during the process of performing electric pulse welding, to influence the structure of the metal in the area of the weld. Changes in grain size, ductility and residual mechanical stresses make it possible to control the properties and quality of welding. The influence of the amplitude, duration, duty cycle and frequency of electrical pulses on the characteristics of the vibration response to the action of such a pulse is considered.

Ключевые слова: электроимпульсная сварка, деформация, остаточные механические напряжения, вибрация, усталость, магнитное поле.

Key words: electric pulse welding, deformation, residual stresses, vibration, fatigue, magnetic field

Введение

Вопросы вибрационного воздействия на область сварки и его влияние на свойства материалов рассмотрен в ряде работ, обзор которых представлен в [1]. Воздействие импульсного тока высокой плотности, при выполнении сварочных работ, вызывает эволюцию микроструктуры материалов в области сварного шва. При этом наблюдается как закаливание в областях сильной деформации, так и отпуск в других областях материала. При этом также наблюдается движение дислокаций в материале [2].

Воздействие высокой температуры увеличивает размер зерна материала и снижает усталостную прочность при гигациковых испытаниях материала в области сварного шва на 7-8 % [3]. Импульсное электроимпульсное воздействие напротив вызывает уменьшение зернистости материала за счет процессов диффузии, перемещений дислокаций и уменьшения зернистости [4]. Управление силой статического нагружения и величиной электроимпульсного воздействия обеспечивает повышение прочностных свойств сварного соединения. Такой вид сварки получил наименование интеллектуальной сварки SpotTM.

Контроль вибрационного отклика при электроимпульсном воздействии на область сварки.

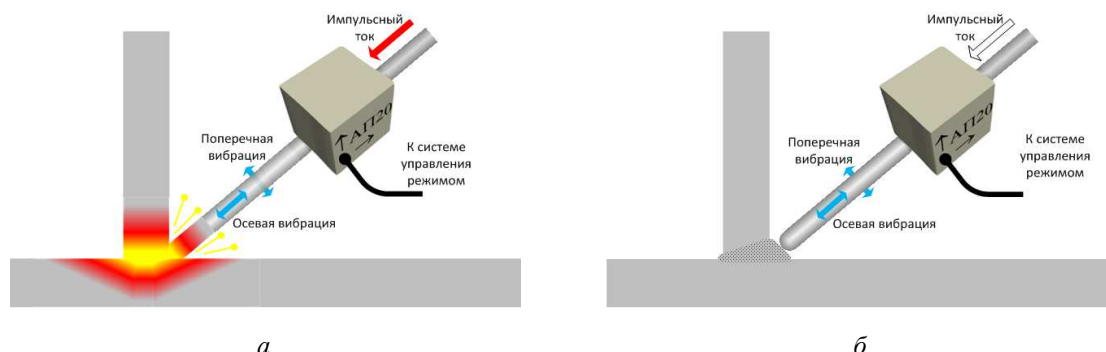


Рис. 1. Процесс электроимпульсной сварки, сопровождающийся вибрацией металла, по которому протекают импульсные токи, при большой (а) и малой (б) длительности импульса

При воздействии электрического импульса в проводниках, в том числе в используемом для выполнения сварки электроде возникают вибрационный отклик, параметры которого могут быть изучены при прямом измерении сигналов от датчика вибрации, закрепленном на таком электроде. Действие электрического импульса также всегда сопровождается выделением тепла в металле, по которому проходят электрические токи. Количество выделяемого тепла в соответствии с законом Джоуля-Ленца пропорционально квадрату величины тока и длительности электрического импульса.

При воздействии одиночного электрического импульса малой длительности (порядка 100 микросекунд) нагрев проводника выделяемым теплом сравнительно невелик. Линейные деформации материала проводника при таком нагреве также незначительны. В этом случае такие тепловые деформации не позволяют адекватно объяснить наблюдаемые значительные динамические вибрационные отклики (в десятки и сотни g) на действие электрического импульса.

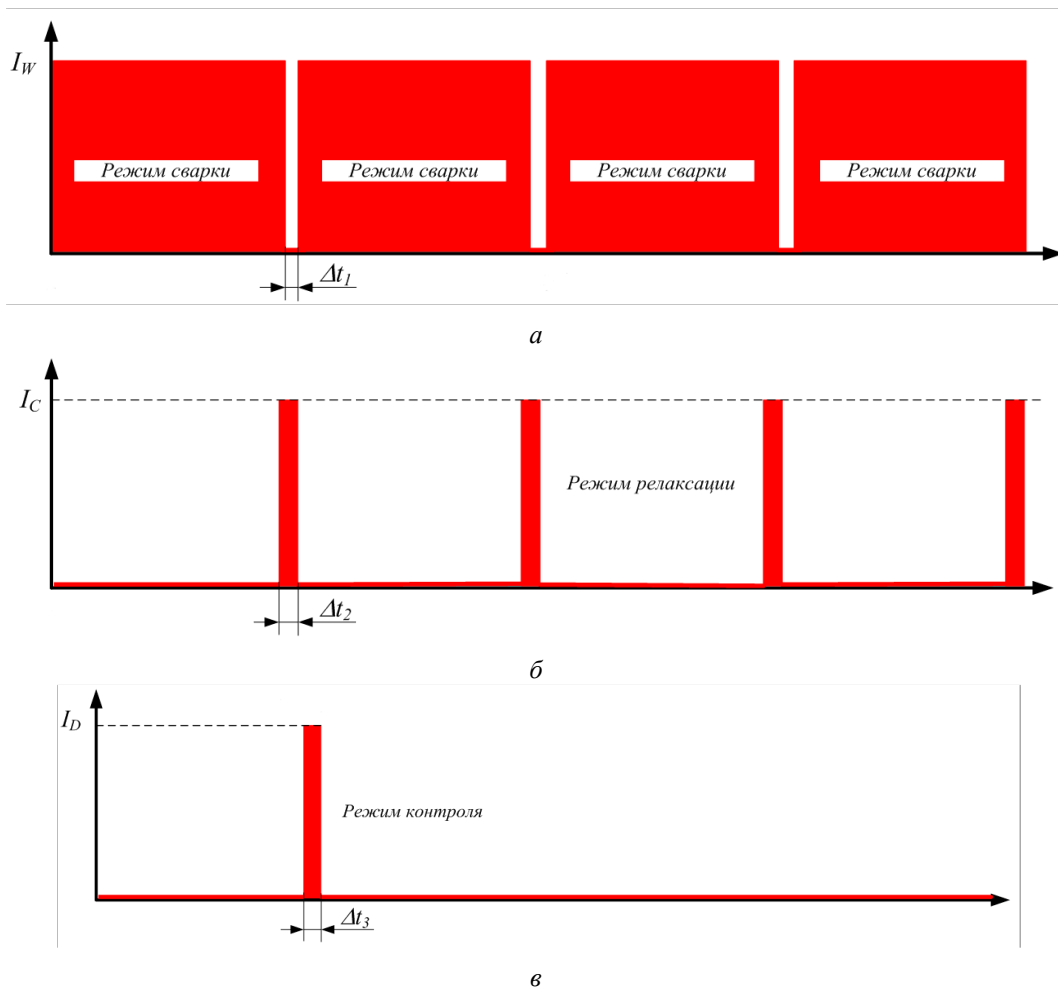


Рис. 2. Управление величиной среднего тока для получения режима интенсивного нагрева (сварка) – а, режиме релаксации возникающих механических напряжений – б, а также одиночного импульсного воздействия – в при неразрушающем контроле области сварного соединения по виброакустическому отклику без заметного нагрева металла

Величина тока через электропроводящие материалы при таком импульсном воздействии пропорциональна амплитуде внешнего электрического импульса. Величину тока при выполнении экспериментальных исследований контролирую бесконтактными датчиками магнитного поля. В качестве таких датчиков можно использовать интегральные датчики Холла типа SE39. Для контроля температуры также можно воспользоваться бесконтактными датчиками. Примерами таких бесконтактных пирометров являются микросхемы MLX90614 (диапазон измеряемых температур до 380 °С) и MLX90616 (диапазон измеряемых температур до 1030 °С).

Как акселерометры, так и датчики температуры подключены к компьютерной системе синхронного сбора данных для записи и последующего анализа экспериментальных данных.

Управление количеством импульсов, частотой, длительностью и скважностью, а также полярностью электрических импульсов можно выбрать различные режимы воздействия на материал проводника. Примеры выбора различных режимов поясняются временными диаграммами на рис. 2. При практически непрерывном протекании тока через проводник (рис. 2а) наблюдается интенсивное выделение тепла соответствующее выполнению режима сварки. Импульсное воздействие и вибрации, возникающие в моменты изменения тока, способствуют интенсивной диффузии материалов в области нагрева. При действии электрических импульсов малой длительности (рис. 2б) также наблюдается значительное вибрационное воздействие и связанные с ним процессы перераспределения дислокаций в нагретом материале и процессы релаксации возникающих остаточных напряжений. Воздействие одиночного короткого электрического импульса (рис. 2в) может быть использован для диагностирования качества сварного соединения по вибрационному отклику.

Вклад одного импульса в нагревание и тепловую деформацию проводников из железа и меди можно сравнить по данным представленным на рис. 3. Такие изменения существенно различаются для ранее рассмотренных режимов сварки и релаксации.

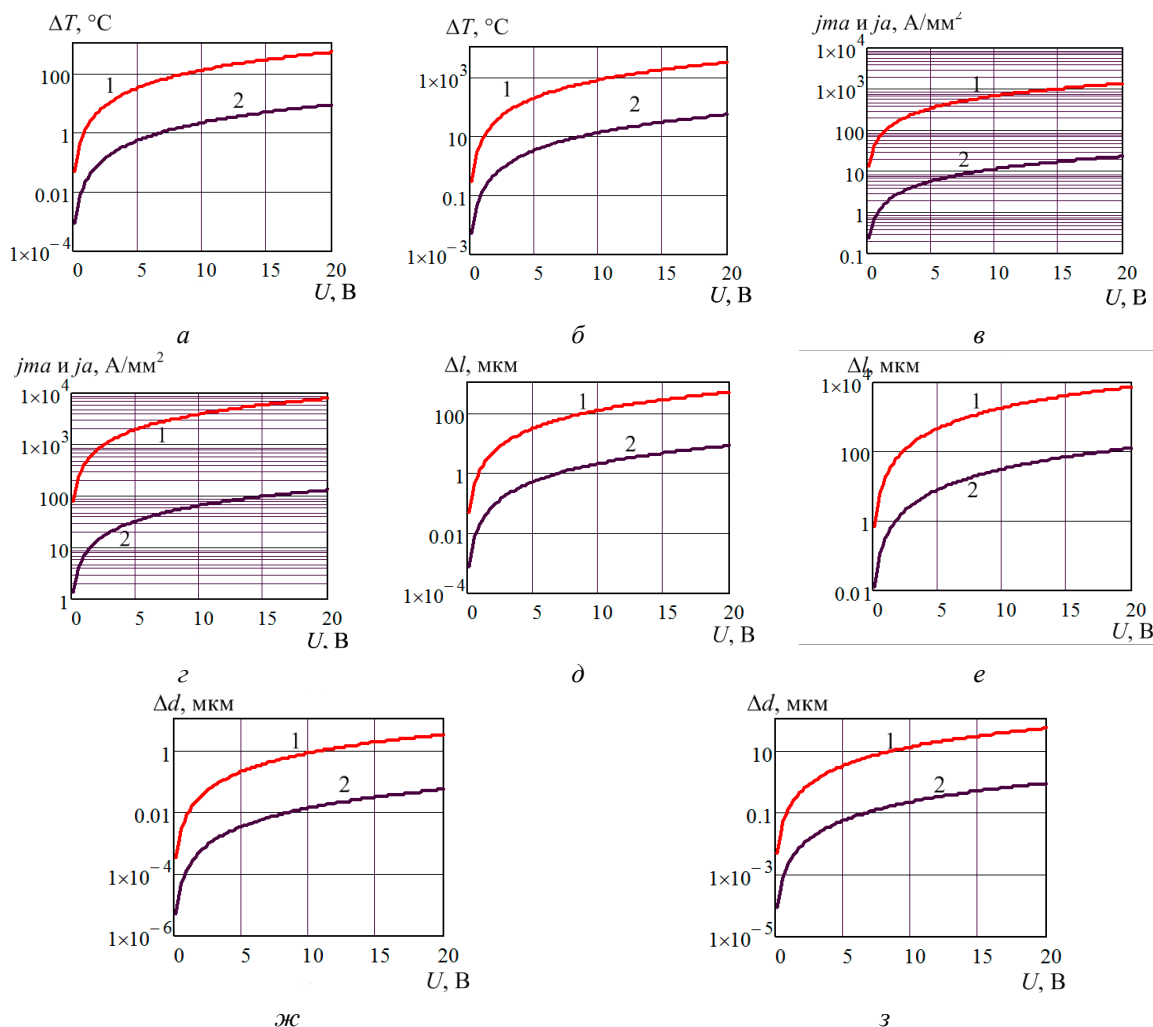


Рис. 3. Зависимость теплового действия от одного электрического импульса амплитудой U для проводника из железа (слева) и меди (справа). Диаметр проводника 1 мм, длина 150 мм. Рост температуры ΔT °C в режиме сварки (1) и релаксации (2); аналогично для ΔL и поперечного Δd теплового расширения, а также зависимость максимальной j_{\max} (1) и $j_{\text{ср}}$ средней (2) плотности тока через проводник при $\Delta t = 150$ мкс и периоде импульсов T 10 мс

Обсуждение результатов.

Воздействие электрического импульса на металлические материалы сопровождается возбуждением в них сильных виброакустических колебаний [5]. Такой виброакустический отклик не связан с вбодом электрического воздействия, поскольку наблюдается как непосредственном действии электрического импульса, так и при электронно-импульсном воздействии, а также магнитном и электромагнитном воздействии. Виброакустический мониторинг в области сварного соединения в процессе сварки позволяет контролировать ход превращений, происходящих при воздействии электрических импульсов на материал, а также оценивать достаточность мощности подаваемых импульсов. Такое поведение виброакустических сигналов, по мнению авторов, указывает на процессы, свидетельствующие о структурных изменениях в приповерхностном слое во время операции легирования. В частности, авторы отмечают, что существует связь между реакцией образования деформации мартенсита и соответствующим виброакустическим сигналом, которая позволяет описать кинетику этого превращения.

Вибрационное воздействие на область сварки металлов позволяет повысить прочность в области сварного шва, а также повысить ударную вязкость таких областей без негативного влияния на другие механические параметры металла [6].

На рис. 4(а) показаны временные диаграммы изменения внешнего импульса напряжения U и изменения тока I через электрод. Увеличение тока происходит сравнительно медленно, что связано с проявлением самоиндукции и поверхностного эффекта в проводнике. Увеличение тока I происходит одновременно с увеличением магнитного поля вокруг проводника. Такое увеличение можно зафиксировать датчиком магнитной индукции B , величина которой пропорциональна величине тока. В магнитном поле при прохождении импульса накапливается энергия, которая в момент t_e окончания внешнего электрического импульса поддерживает в течение некоторого времени ток в проводнике. Эксперименты показывают, что наблюдаются скачкообразные изменения тока и магнитного поля в момент t_s соответствующий началу переднего фронта и в момент t_e . Такие изменения в моменты времени t_s и t_e имеют противоположные знаки.

В соответствии с теорией на проводник, по которому протекает ток I и находящийся в магнитном поле B действуют механические силы Лоренца. Величина этой силы, вызывающей в поверхностном слое проводника появление механических напряжений, направленных к центру проводника, пропорциональна квадрату величины тока через проводник. Такое явление известно как проявление пинч-эффекта. Направление такого механического напряжения не зависит от направления тока через проводник. Эксперименты показывают, что на поверхности проводника при воздействии на него электрического импульса кроме силы Лоренца также действуют механические динамические нагрузки, полярность которых зависит от полярности приложенного электрического импульса, а амплитуда линейно зависит от амплитуды внешнего электрического импульса. Такие механические нагрузки по времени совпадают с моментами начала переднего и заднего фронтов внешнего электрического импульса. Такие напряжения характерны как для направления, совпадающего с осью проводника, так и для поперечного направления.

Одним из способов управления режимом электроимпульсной сварки является использование ступенчатое увеличение внешнего электрического напряжения, приложенного к сварочному электроду. Ступенчатое изменение импульсного токового воздействия также является способом управления интеллектуальной сваркой [4]. Пример такого ступенчатого увеличения показан на Рис. 4(б). При этом в моменты t_0 , t_1 , t_2 , t_3 начала каждой из ступенек формируется динамическое механическое воздействие на металл, которое сопровождается затухающими вибрационными колебаниями. Экспериментально такие вибрационные отклики можно фиксировать акселерометром. Такие особенности формирования вибрационного отклика могут быть использованы для управления режимом вибрационного воздействия за счет скорости изменения на фронте внешнего электрического импульса.

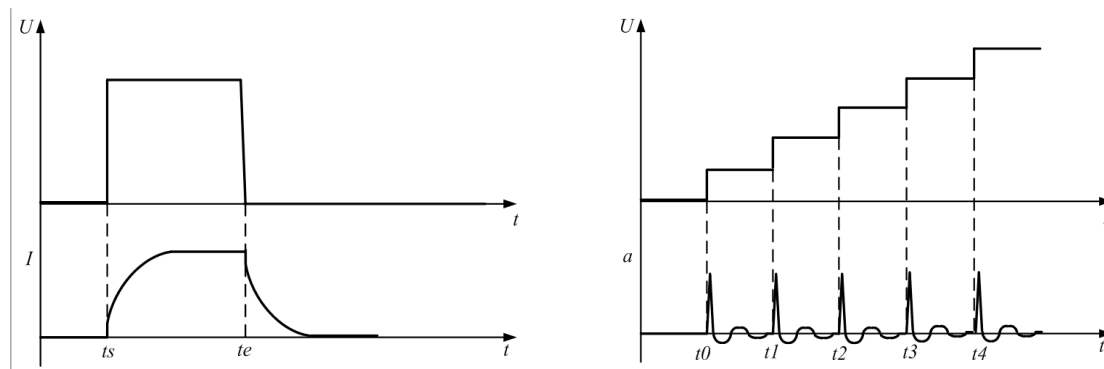


Рис. 4. Изменение тока I через проводник при воздействии внешнего электрического импульса U прямоугольной формы (а) и вибрационный отклик величины ускорения a на ступенчатое изменение внешнего электрического воздействия (б)

В процессе сварки в месте контакта свариваемых материалов протекают сложные процессы нагрева, перемешивания, диффузии, кристаллизации, формирования остаточных напряжений и образования дефектов [7]. Импульсное воздействие на металлы электрического тока, магнитного поля или электромагнитного поля связано с эффективным развитием диффузии металлов в области их соприкосновения и массопереносом в самих металлах [8].

Дополнительное ударное вибрационное или ультразвуковое воздействие в области сварки позволяют усилить стойкость сварного шва сварного соединения. Вибрационное воздействие в области сварки усиливает сопротивление усталостному разрушению в области пластических деформаций для сварного шва, а также уменьшает величину зерна и приводит к получению более однородной структуры металла [9].

На характеристики остаточного напряжения в области сварного шва влияют не только частота и амплитуда дополнительного вибрационного воздействия, но также направление и вид этого вибрационного воздействия [10].

Сам процесс электроимпульсной сварки является источником дополнительного вибрационного и виброакустического воздействия на область формируемого сварного шва. Управление параметрами используемых электрических импульсов можно обеспечить выбор желательных режимов нагрева и остывания, процесса релаксации остаточных напряжений в материале, процессами диффузии и перемещения дислокаций.

Заключение.

Выбор параметров электрических импульсов при выполнении сварки позволяет в широких пределах менять такие характеристики происходящих процессов как нагрев и возникающие механические колебания материала. Амплитуда внешнего электрического импульса является наиболее значительным влияющим фактором. Частота, скважность и крутизна фронтов электрического импульса также оказывают значительное влияние на тепловые и механические процессы в образце. Генерирование ударных механических напряжений в моменты скачкообразного изменения внешнего электрического напряжения, позволяет формировать затухающие вибрационные процессы. Полярность вибрационного отклика при этом зависит от полярности внешнего электрического импульса, а их амплитуды линейно связаны [11]. Амплитуда вибрационного отклика при этом снижается для случая плавного изменения внешнего электрического импульса или постепенного увеличения за счет небольших изменений. Таким образом, форма электрического импульса оказывает влияние на характеристики механического отклика в материале, который оказывающего влияние на процессы диффузии и релаксации остаточных напряжений.

Список использованных источников:

1. Лашенко Г.И. Технологические возможности вибрационной обработки сварных конструкций (Обзор) // Автоматическая сварка, №7 (754), 2016. – С.28–34.
2. Demler E., Gerstein G., Dalinger A., Epishin A., Heidenblut T., Nürnberger F., Maier H.J. Influence of high current-density impulses on the stress-strain response and microstructural evolution of the single crystal superalloy CMSX-4 // Materials Research. 21(6), 2018. – P.1–9.

3. Hyunho Yeom, Byungjoo Choi, Taeho Seol, Moongu Lee and Yongho Jeon Very high cycle fatigue of butt-welded high-strength steel plate // Metals, 7, 103, 2017. – 11 с.
4. Matsushita Muneo, Taniguchi Koichi, Oi Kenji Development of Next Generation Resistance Spot Welding Technologies Contributing to Auto Body Weight Reduction // JFE technical report. No. 18 (Mar. 2013) 111-117.
5. Fedorov S.V., Kozochkin M.P., Stebulyanin M.M. Control of the surface electron-beam alloying process by vibration monitoring // Mechanics & Industry 19, 702, 2018. – 14 с.
6. Салмин А.Н., Файрушин А.М., Ибрагимов И.Г. Исследование влияния вибрационных колебаний в процессе сварки на технологическую прочность и механические свойства сварных соединений из стали 11X11H2B2MФ // Нефтегазовое дело, № 2, 2010. – 8 с.
7. Физические процессы в металлах при сварке // Т.1. Элементы физики металлов и процесс кристаллизации, Н.Н. Прохоров. Изд-во «Металлургия», 1968. – 695 с.
8. Мазанко В.Ф., Покоев А.В., Миронов В.М., Герцрикен Д.С., Миронов Д.В., Степанов Д.И., Луценко Г.В. Диффузионные процессы в металлах под действием магнитных полей и импульсных деформаций. В двух томах. Москва: изд-во "Машиностроение", 1 том, 2005. – 343 с.
9. Зарипов М.З., Ибрагимов И.Г., Ризванов Р.Г., Файрушин А.М., Мухаметзянов З.Р. Исследование влияния вибрационных и ультразвуковых колебаний в процессе сварки на свойства сварных соединений нефтегазового оборудования из стали 12X18H10T // Нефтегазовое дело, № 2, 2010. – 12 с.
10. Файрушин А.М., Абдуллин Т.З., Ахтямов Р.М., Ибрагимов И.Г. Численное моделирование вибрационного воздействия на сварные стыковые соединения листовых заготовок // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело», № 3, 2012. – 9 с.
11. Troickij O.A., Skvorcov O.B. and Stashenko V.I. Ultrasonic vibroacoustic processes, excited by heating by impulse currents of metals // 15th International School-Conference "New materials – Materials of innovative energy: development, characterization methods and application", KnE Life Sciences, 2017. – P. 549–555.

СВАРИВАЕМОСТЬ МАЛОПЛАСТИЧНЫХ МЕТАЛЛОВ ПРИ СВАРКЕ ВЗРЫВОМ

В.Г. Пинаев, к.т.н., с.н.с., доц.

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова

656038, г. Барнаул, пр-т Ленина, 46, тел. 8-903-912-25-48

E-mail: pvgbel@mail.ru

Аннотация: Исследованы условия свариваемости сталей сваркой взрывом в зависимости от их пластических свойств. Определена нижняя граница свариваемости в координатах энергия пластической деформации – деформационная способность материала. Произведена классификация материалов по степени свариваемости и их пластическим свойствам; выделено три группы – пластичные (свариваемые), малопластичные (трудносвариваемые) и хрупкие (несвариваемые). Показано, что основным дефектом при сварке взрывом малопластичных и хрупких сталей является образование трещин.

Abstract: The conditions of steel weldability by explosion welding depending on their plastic properties are investigated. The lower limit of weldability is determined in the coordinates of the energy of plastic deformation – the deformational ability of the material. The classification of materials according to the degree of weldability and their plastic properties is made; three groups are distinguished-plastic (weldable), low-plastic (difficult to weld) and brittle (non-weldable). It is shown that the main defect in explosion welding of low-plastic and brittle steels is the formation of cracks.

Ключевые слова: Сварка взрывом, свариваемость, технологическая прочность, хрупкое разрушение, критерий Астрова, пластичность, предварительный подогрев.

Keyword: Explosion welding, weldability, technological strength, brittle fracture, Astrov criterion, ductility, preheating.

Современные представления о свариваемости металлических материалов базируются, прежде всего, на взаимосвязи между комплексом свойств этих материалов и физико-химическими процессами, протекающими при их соединении. При этом степень свариваемости конкретных металлов, соединяемых различными способами сварки, могут существенно отличаться.

Условия свариваемости материалов при сварке взрывом описываются, в основном, двумя моделями природы процесса: гидродинамической и энергетической [1-2]. Последняя нашла большее применение для практических целей, поскольку дает представление о взаимосвязи технологических

параметров процесса с физико-механическими свойствами сталей, например, пластическими, что особенно важно для сварки взрывом сталей с пониженными пластическими свойствами (инструментальных, износостойких, закаленных и т.п.). Согласно этой модели, наиболее важной энергетической характеристикой, ответственной за формирование соединения при сварке взрывом, является энергия пластической деформации, которая определяется параметрами процесса:

$$W_2 = \tilde{m} V_c^2 \left[1 - \frac{V_k^2}{c_o^2} \right], \quad (1)$$

где $\tilde{m} = \frac{m_1 \cdot m_2}{2(m_1 + m_2)}$ – усредненная масса соударяющихся пластин,

V_c – скорость соударения, V_k – скорость точки контакта.

Основной проблемой при сварке взрывом таких сталей является их низкая технологическая прочность, проявляющаяся в образовании в зоне соединения различных дефектов (химическая и структурная неоднородность, литые включения, микро- и макротрещины) [3], что в совокупности со сварочными деформациями и напряжениями приводит, как правило, к разрушению соединения (Рис. 1).

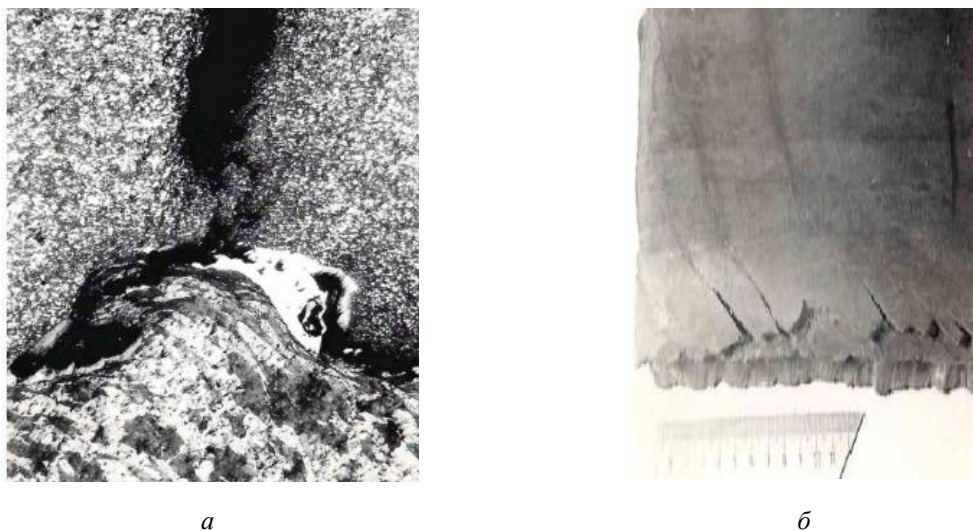


Рис. 1. Дефекты при сварке взрывом инструментальной стали Р6М5: а – литое включение с трещиной в зоне соединения, $\times 100$; б – сквозные трещины в плакирующем слое

Авторами [4] была предложена нижняя граница свариваемости, определяющая минимальную энергию пластической деформации, необходимую для образования равнопрочного соединения, в зависимости от пластических свойств свариваемых материалов:

$$W_{2\text{кр}} = 0,606 + 0,184 \ln HB/\delta, \quad (2)$$

где HB/δ – показатель технологической деформируемости (критерий Астрова)

С целью определения верхней границы свариваемости сталей с учетом их пластических свойств были проведены эксперименты по сварке взрывом сталей с различными значениями критерия Астрова $HB/\delta = 10 \dots 530$. В качестве свариваемых материалов использовали инструментальные стали марок Х12, Х12М, Х6Ф1, Х6Т2, ДИ-54 (У20Х6Т2Д), Р9, Р6М5 в состоянии поставки, закаленную и отпущенную на различную твердость сталь 65Г, а также высокопрочный титановый сплав ВТ6 (Таблица).

Плакирование осуществляли в широком диапазоне режимов. Во всех экспериментах измеряли скорость точки контакта и скорость соударения, а значения энергий пластической деформации W_2 и $W_{2\text{кр}}$ рассчитывали по выражениям (1) и (2). Качество плакирования оценивали по наличию трещин в плакирующем слое и по относительной прочности соединения $\tilde{\sigma} = \frac{\sigma_{\text{отр}}}{\sigma_B}$, где $\sigma_{\text{отр}}$ – прочность соединения при отрыве; σ_B – прочность материала.

Таблица

Материал	HB/ δ	W _{2кр}	W ₂	$\tilde{\sigma}$	Наличие трещин
		МДж/м ²			
X6ФI	9,8	1,03	5,21	1,0	нет
X6ФI	9,8	1,03	6,32	1,0	нет
X6ФI	9,8	1,03	9,75	1,0	нет
X6ФI	12,2	1,07	2,32	1,0	нет
X6ФI	12,2	1,07	5,21	1,0	нет
X6ФI	12,2	1,07	6,32	1,0	есть
XI2M	16,4	1,12	4,59	1,0	нет
XI2M	16,4	1,12	5,83	1,0	есть
ДИ-54	18,3	1,14	4,20	1,0	нет
ДИ-54	18,3	1,14	5,21	1,0	есть
XI2	23,0	1,18	3,48	1,0	нет
XI2	23,0	1,18	5,03	1,0	есть
P9	25,1	1,20	3,31	1,0	нет
P9	25,1	1,20	4,59	1,0	есть
P6M5	31,2	1,24	3,42	1,0	нет
P6M5	31,2	1,24	4,33	1,0	есть
P6M5	62,5	1,37	1,60	1,0	нет
P6M5	62,5	1,37	2,02	1,0	есть
BT6	38,4	1,29	2,32	1,0	нет
BT6	38,4	1,28	3,04	1,0	есть
65Г	70,0	1,41	1,23	0,7	есть
65Г	80,0	1,41	1,48	0,9	есть
65Г	106,2	1,46	0,51	0,3	нет
65Г	106,2	1,46	0,62	0,5	есть
65Г	530,3	1,76	0,12	0	есть

Анализ результатов проведенных исследований показал, что существует определенная зависимость между технологической прочностью, технологической деформируемостью свариваемого материала и энергией пластической деформации W_2 , а верхняя граница образования качественных соединений может быть представлена в координатах $W_2 - \text{HB}/\delta$ (Рис. 2). Критерием построения верхней границы являлось отсутствие трещин после сварки взрывом.

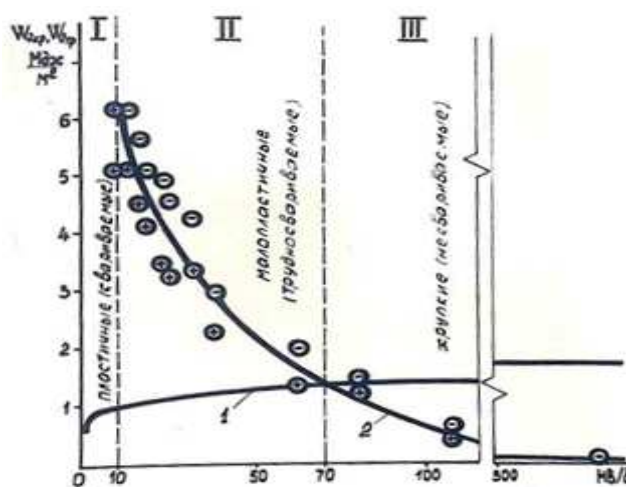


Рис. 2. Область свариваемости сталей:

1 – граница образования равнопрочного соединения (нижняя граница);
2 – граница трещинообразования (верхняя граница); \ominus – есть трещины; \oplus – нет трещин

Обработка экспериментальных данных позволила определить положение верхней границы свариваемости, которую аппроксимируют выражением

$$W_{2тр} = 7,6 \cdot e^{-0,024 HB/\delta} \quad (3)$$

Энергия $W_{2тр}$ соответствует минимальным значениям энергии пластической деформации, вызывающей образование трещин, которую можно представить как верхнюю границу сварки взрывом из условия технологической прочности материала.

Анализ критических границ показывает, что кривая 2 ограничена слева прямой $HB/\delta = 10$, а ее правая часть асимптотически приближается к $W_2 = 0$. Из этого следует, что материалы, имеющими критерий Астрова $HB/\delta < 10$ (область I), можно сваривать при любой энергии пластической деформации, а в материалах, пластичность которых чрезвычайно низка (область III), как например, в закаленных сталях, будут образовываться трещины даже при незначительных режимах сварки взрывом. Точка пересечения нижней и верхней границ соответствует критическому значению $HB/\delta = 70$, выше которого качественного (равнопрочного и без трещин) соединения получить не удастся. Область II, заключенная между кривыми 1 и 2 в диапазоне пластичности $10 < HB/\delta < 70$, определяет энергию пластической деформации, соответствующую режимам качественной сварки взрывом малопластичных сталей.

С учетом полученных данных представляется целесообразным металлические материалы по свариваемости, т.е. способности свариваться взрывом, классифицировать следующим образом. В зависимости от пластичности в исходном состоянии, характеризующейся критерием Астрова, их предложено разделить на 3 группы:

I - пластичные или свариваемые ($HB/\delta \leq 10$);

II - малопластичные или трудносвариваемые ($10 < HB/\delta < 70$);

III - хрупкие или несвариваемые ($HB/\delta \geq 70$).

Очевидно, что для сварки таких материалов, как инструментальные или закаленные стали, необходимо повышать их пластичность, например, путем предварительного подогрева [5], который позволит повысить степень свариваемости и перевести их из разряда несвариваемых в разряд трудносвариваемых или даже свариваемых.

На основании проведенных исследований разработана технология производства биметалла с плакирующим слоем из малопластичных инструментальных сталей Р6М5, Х12М, Х6Ф1 и др. [6-7].

Список используемых источников:

1. Дерибас А. А. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск: Наука, 1980. 222 с.
2. Седых В.С. Классификация, оценка и связь основных параметров сварки взрывом // Сварка взрывом и свойства сварных соединений: Сб.научн.трудов. Волгоград: ВолгПИ, 1985. С. 3-30.
3. Особенности образования дефектов при сварке взрывом малопластичных сталей / В. Г. Пинаев [и др.] // Высокоэнергетическое воздействие на материалы: Сб.тр. IX Междунар.конф. Новосибирск. 1986. С. 295-299.
4. Лысак В. И., Седых В. С., Трыков Ю. П. Определение критических границ процесса сварки взрывом // Сварочное производство. 1984. № 5. С. 6-8.
5. Особенности сварки взрывом хрупких сталей с предварительным нагревом / В. Г. Пинаев [и др.] // Технология производства и применение новых материалов в отрасли тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. М.: ВИСХОМ. 1978. С. 47-50.
6. Пинаев В.Г., Киришов В.В. Биметалл для металлорежущего инструмента // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1988. № 9. С. 44-45.
7. Пинаев В.Г., Андрианов В.М. Опыт и перспективы применения биметаллов, полученных сваркой взрывом в судостроении и судоремонте // Ползуновский альманах. 2017. № 1. С. 91-95.

ЭВОЛЮЦИЯ ИЗНАШИВАНИЯ КОМПОЗИЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ СТАЛИ М2

С.Ф. Гнусов, д.т.н., проф., Е.А. Федин^а, магистр, С.Ю. Тарасов, д.т.н., проф.

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-12-34-56

а E-mail: jakson1974@mail.ru

Аннотация: В работе проведено исследование эволюции изнашивания структурно-фазового состава приповерхностного объема покрытия на основе стали М2. Определены этапы установившегося износа и его резкого повышения в зависимости от приложенных нагрузок. Исходя из проведенного анализа, предложен способ обеспечения равномерного износа.

Abstract: In this work, the study of the evolution of wear of the structural-phase composition of the surface volume of the coating based on M2 steel is carried out. The stages of steady-state wear and its sharp increase are determined depending on the applied loads. Based on the analysis, a method is proposed to ensure uniform wear.

Ключевые слова: Электронно-лучевая наплавка, Термоциклирование, Композиционные покрытия, Сталь М2, Карбид Ванадия, Износостойкость

Keyword: Electron beam cladding, Thermal cycling, Composite coating, M2 steel, Vanadium carbide, Wear resistance

Введение

При продолжительном сроке эксплуатации механизмов происходит износ деталей, сопровождающийся снижением эксплуатационных показателей, которое в большинстве случаев приводит к их замене.

Так как изготовление детали полностью из износостойкого материала, в ряде случаев, нерационально, широкое применение в производстве нашли износостойкие покрытия, которые позволяют повысить эксплуатационные показатели, а также срок службы деталей.

Материалы покрытий, устойчивые к изнашиванию в одной среде, при других условиях работы могут быстро разрушаться. Соответственно, в конкретном случае пары трения, требуется проведение исследований в широком интервале нагрузок, скоростей и температур, для возможности рационального подбора износостойкого материала и способа его обработки [1, 2].

Значительный прогресс в технологии упрочнения рабочих поверхностей, достигнут методами наплавки концентрированными потоками энергии, в частности, с помощью вакуумной электронно-лучевой обработки [3-5].

Для композиционных покрытий, в том числе и на основе М2, наиболее благоприятной структурой матрицы считаются аустенитные и аустенитно-мартенситные. При этом их износостойкость также зависит и от состава упрочняющих частиц [6-9].

Целью данной работы является изучение влияния на механизмы износа исходной микроструктуры и определение этапов эволюции изнашивания приповерхностного объема.

Материалы и методы

Вакуумная электронно-лучевая наплавка осуществлялась с использованием порошка стали М2, полученного распылением расплава в воду.

Таблица 1

Химический состав быстрорежущей стали М2

С	Cr	W	Mo	V	Si	Mn	Ni	S	O2	Fe
1%	4%	6.5%	5%	1.5%	< 0.5%	<0.55%	< 0.4%	<0.03%	<0.03%	основа

Наплавочные дорожки шириной 20 мм, в четыре прохода наплавлялись на заготовки (30 × 200 мм) из стали 30, при этом толщина слоя получилась ~3 мм.

С каждым проходом мощность электронного луча уменьшалась, для поддержания постоянства площади жидкометаллической ванны в районе ~100 мм² (в связи с ростом температуры в процессе наплавки), при этом диаметр луча (1 мм), скорость подложки (2,8 мм/с) и длина развертки (20 мм) оставались постоянными. Время осуществления одного прохода луча, как и время паузы между ними, равнялось 80 с.

Испытания образца с контртелом (колесо, изготовленное из стали ШХ15, применяющейся для изготовления подшипников) проводились на машине трения СМТ-20 без смазки. Скорость и нагрузка повышались ступенчато, для каждого из значений (1,2, 2,4 и 3,6 м/с; 20, 40, 60, 80 и 100 Н) проводилось 4 эксперимента, путь трения составлял 2000 м.

Мера интенсивности износа определялась как отношение потерянного объема материала, к пути трения.

Анализ химического состава напавленного материала проводили методом микрорентгеноспектрального анализа, структурные исследования – с помощью рентгеноструктурного анализа.

Результаты и обсуждение

Таблица 2

Химический состав напавленного слоя

Fe	C	W	V	Cr	Mo
основа	1.34%	5.94%	1.35%	4.0 %	5.37 %

Совместный анализ микроструктуры, рентгеноструктурных и электронномикроскопических данных показал, что упрочняющую фазу составляют карбиды М6С и VC.

Анализ результатов испытаний для скоростей скольжения 2,4 и 3,6 м/с (в случае скорости 1,2 м/с изменение интенсивности изнашивания не наблюдалось) зависимость износа от нагрузки близка друг к другу и имеет достаточно сложный характер.

Согласно полученным результатам испытаний, выделяются два участка при нагрузках от 20 до 40 Н и от 60 до 80 Н с установившейся интенсивностью изнашивания на уровне 0,1 и 0,4 мм³/км, соответственно.

Структура поверхности трения покрытия при скорости скольжения 1,2 м/с в основном представлена светлым цветом (не зависимо от нагрузки), в малых количествах - отдельными темно-серыми участками, вытягивающимися в направлении скольжения. С увеличением скорости скольжения, площадь последних растет, вплоть до практически сплошного слоя при нагрузках 60-80 Н. Интенсивное изнашивание наблюдается при увеличении нагрузки до 100 Н, напавленный слой начинает разрушаться.

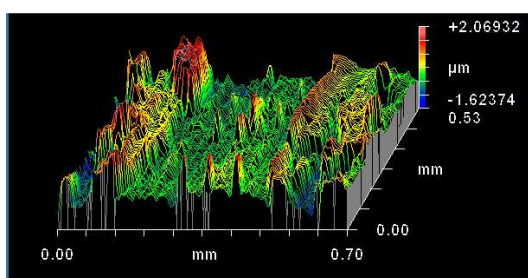


Рис. 1. Пример 3D модели микрогеометрии поверхности трения покрытия при 100Н, 3,6 м/с

Эволюция рельефа с увеличением скорости скольжения и нагрузки на поверхность напавки отображается и при анализе на профилометре. Арифметическое отклонение профиля поверхности износа, хорошо (а при скорости 3,6 м/с полностью) коррелирует с интенсивностью изнашивания. На 3D модели профиля поверхности (рисунок 1) явно видны кратеры, характерные для удаления толстого трибологического слоя с изнашиваемой поверхностью.

Анализ полученных данных после испытаний в паре трения М2-ШХ15 показывает факт наличия области катастрофического изнашивания покрытия (2,4 и 3,6 м/с при 60 Н) и установившегося

износа (для нагрузок 20-40 Н и 60-100 Н).

Выводы

Эволюция структурно-фазового состава приповерхностного объема покрытия происходит по следующей схеме (рисунок 2).

I этап, (установившийся износ, 20-40 Н). Сохраняется исходная структура материала, эвтектический карбид М6С выделяется по границам зерен аустенитно-мартенситной матрицы в виде сетки. Присутствует малое количество отдельных темно-серых участков трибологического слоя, вытянутых вдоль направления скольжения. Наблюдаются следы нормального абразивно-окислительного износа (с продуктами изнашивания пар трения в виде абразивных частиц). Процесс объясняется пластическим оттеснением и микрорезанием поверхности частицами карбидов и оксидов.

II этап (резкое повышение износа). Развитие обратного альфа-гамма – превращения, ведущее к повышению пластичности матрицы, и способствующее разрушению сетки эвтектических карбидов на отдельные частицы. Формируется начальный этап микрокомпозитной структуры за счет перемещения карбида М6С и оксида FeWO₄. Преобладает окислительное изнашивание.

III этап (установившийся износ). Заканчивается формирование микрокомпозитной структуры, образуется практически сплошной трибологический слой. Стабилизируется интенсивность изнашивания, в следствие обратного альфа-гамма превращения, обеспечивающего для скоростей 2,4 и 3,6 м/с уровень аустенита в районе 35 и 55%, соответственно. Также на данном этапе происходит мартенситное превращение, сохраняющее интенсивность изнашивания наибольшей, по сравнению с другими режимами.

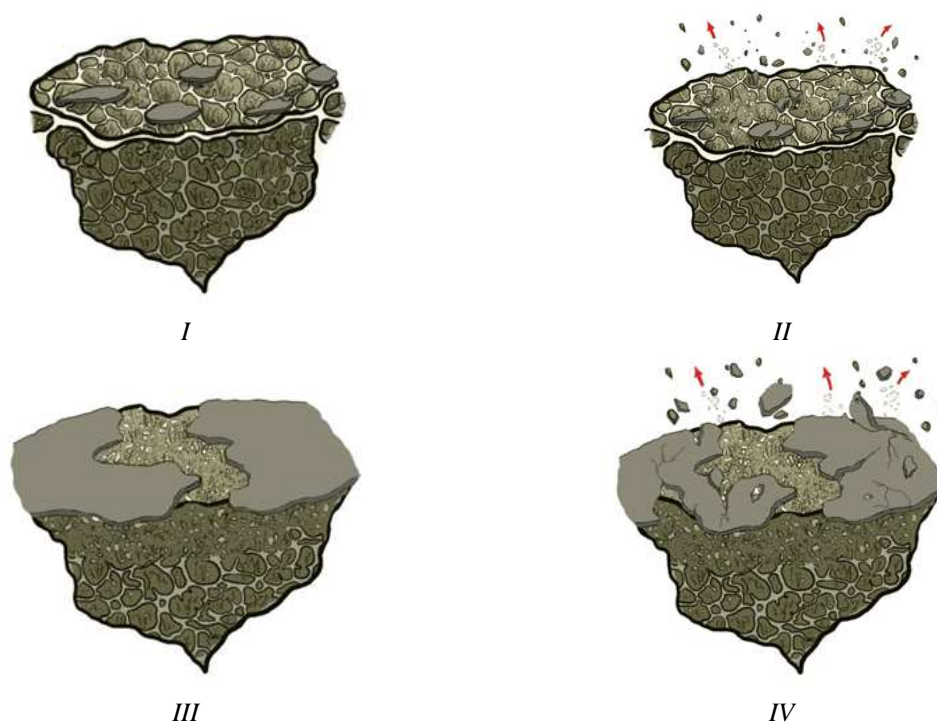


Рис. 2. Эволюция состава приповерхностного объема покрытия в процессе трения.

IV этап (резкое повышение износа). Трибологический слой начинает частично отслаиваться в продукты износа. Интенсивность изнашивания увеличивается.

Для обеспечения равномерного износа в рассматриваемой трибологической паре, необходимо, чтобы выделения карбида М6С происходило внутри объема зерен, а не только по их границам, соответственно, можно предложить повысить в наплавляемом покрытии количество карбидообразующих.

Список используемых источников:

1. Stott F.H. The role of oxidation in the wear of alloys // Tribology International. – 31 – 1998. – с. 61-71.
2. G.A. Fontalvo, R. Humer, C. Mitterer, K. Sammt, I. Schemmel Microstructural aspects determining the adhesive wear of tool steels // Wear. – №260, – 2006. – с. 1028–1034.
3. Pirso J., Viljus M., Juhani K., Letunovits S. Two-body dry abrasive wear of cermets. // Wear. – 266 – 2009. – с. 21-29.
4. Guilemany J.M., Miguel J.M., Vizcaino S., Climent F. Role of three-body abrasion wear in the sliding wear behaviour of WC-Co coatings obtained by thermal spraying. // Surface and Coatings Technology. – 140 – 2001. – с. 141-146.
5. V.E. Panin, S.I. Belyuk, V.G. Durakov, G.A. Pribytkov, N.G. Rempe, Electron-beam deposition in a vacuum: the equipment, technology, properties of the coatings, Svarochnoe производство 2 (2000) 34–38.
6. J. Pirso, M. Viljus, S. Letunovits Friction and dry sliding wear behaviour of cermets // Wear. – Выпуск 260. – 2006. – с. 815–824.
7. V.G. Kayuk, V.A. Maslyuk, A.D. Kostenko Tribological properties of hard alloys based on chromium carbide // Powder Metallurgy and Metal Ceramics. – 42 – 2003. – с. 257–261.
8. T. Sahraoui, N.-E. Fenineche, G. Montavon, C. Coddet Structure and wear behaviour of HVOF sprayed Cr₃C₂-NiCr and WC-Co coatings // Materials & Design. – 24 – 2003. – с. 309–313.
9. L.A. Dobrzański Structure and properties of high-speed steels with wear resistant cases or coatings // Journal of Materials Processing Technology. – 109 – 2001. – с. 44-51.
10. S.F. Gnyusov, A.A. Ignatov, V.G. Durakov, S.Yu. Tarasov, The effect of thermal cycling by electron-beam surfacing on structure and wear resistance of deposited M2 steel, Appl. Surf. Sci. 263 (2012) 215–222.

ВЛИЯНИЕ ГРАФИТОВЫХ ПОЛЗУНКОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ AISI 304L ПРИ MIG СВАРКЕ В СРЕДЕ АРГОНА

К.О. Акимов^{1,2}, А.С. Дубровский^{1,3,a}, Д.А. Чинахов^{1,4}, Д.П. Ильященко^{1,4}

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, 634055, Томск
634055, г. Томск, просп. Академический, 2/4

²Национальный исследовательский Томский государственный университет,
634050, Томск, пр. Ленина, 36

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 30

⁴Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: alexey.dubrovskiy.98@gmail.com^a

Аннотация: В работе исследовали многослойные образцы, наплавленные нержавеющей сварочной проволокой AISI 304L дуговой сваркой в среде аргона. Образцы наплавливали двумя способами: без использования ограничителей и с использованием графитовых формирующих полозьев. Изображения структур образцов получены в режиме дифференциально-интерференционного контраста. Анализ полученных структур показал, что применение графитовых ползунков позволяет получить равномерную структуру в образцах без резких переходов между наплавленными слоями.

Abstract: We investigated multilayer specimens deposited with AISI 304L stainless welding wire by arc welding in an argon atmosphere. The samples were deposited in two ways: without the use of limiters and with the use of forming graphite skids. The images of the structures of the samples were obtained in the differential interference contrast mode. The analysis of the structures obtained showed that the use of graphite skids makes it possible to obtain a uniform structure in the samples without abrupt transitions between the deposited layers.

Ключевые слова: MIG сварка, послойное выращивание, дендритная структура, нержавеющая сварочная проволока.

Keyword: MIG welding, multilayer surfacing, dendritic structure

Разработка технологии аддитивного производства, позволяющего получать изделия с повышенными физико-механическими характеристиками является одним из основных перспективных направлений развития современного материаловедения в промышленных технологиях. В настоящее время в области аддитивных технологий активно рассматриваются возможности процесса изготовления заготовок из различных порошков путем их плавления под воздействием электронных или лазерных лучей. Данные методы позволяют получить изделия с высокой точность допуска на размер [1]. Однако они обладают рядом минусов, среди которых низкая скорость изготовления изделия [2]. Также при работе с порошковыми системами в качестве исходных материалов возникает риск получения итогового продукта с дефектами, в частности с порами, которые в последствии в значительной мере могут повлиять на эксплуатационные свойства изделия [3]. В связи с тем, что существует необходимость преодоления проблем, связанных с микроструктурными особенностями возникающими в неравновесных условиях затвердевания из расплава, появляется потребность в разработке новых методов аддитивного производства изделий различного назначения.

Одним из решений данной проблемы является технология послойного выращивания изделий методом дуговой сварки в атмосфере инертного газа с использованием сварочной проволоки [4]. Несмотря на то, что точность готовых изделий, полученных данным методом ниже, чем при использовании классических методов плавления порошковых систем, скорость осаждения наплавленного материала значительно выше. Это позволяет получать детали больших размеров за короткие сроки. В связи с этим данным метод имеет широкую популярность в различных отраслях промышленности [5].

При выборе материала сварочной проволоки в области разработок послойного выращивания заготовок методом дуговой сварки особую позицию занимают нержавеющие стали [6]. В связи с большей доступностью сварочную проволоку из нержавеющей сталей применяют для изготовления деталей в таких передовых отраслях, как авиа- и ракетостроение.

Цель данной работы исследовать влияние графитовых полозьев на формирование дендритной структуры изделий, полученных многослойной наплавкой сварочной нержавеющей проволокой AISI 304L в среде аргона.

На рис. 1 представлена трехмерная модель образца, полученного многослойной наплавкой сварочной нержавеющей проволокой AISI 304L в среде аргона с использованием графитовых полозьев.

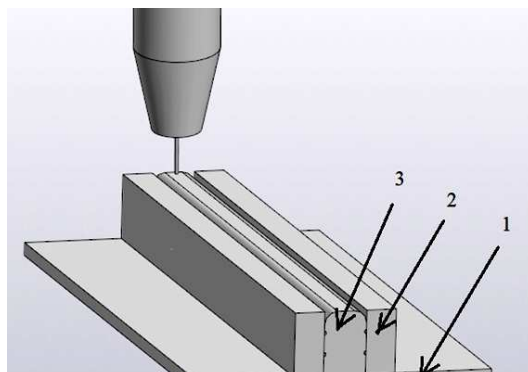


Рис. 1. Трехмерная модель образца, полученного методом послойного дугового выращивания:
1 – стальная подложка, 2 – графитовые формирующие полозья, 3 – образец

При послойном выращивании изделий использовалась сварочная проволока из нержавеющей стали марки AISI 304L. Данная марка сварочной проволоки имеет пониженное содержание углерода и предназначена для сварки изделий, эксплуатирующихся в широком интервале температур от -196 до 350°C. Аналогами данной марки сварочной проволоки являются марки проволок из коррозионноустойчивых хромоникелевых сталей: 03X18H11, 08X18H10T. В таблице 1 представлен химический состав используемой сварочной проволоки.

Таблица 1

Химический состав проволоки марки AISI 304L

C	Mn	Si	Cr	Ni	P	S
max 0.03	1.40-2.10	0.65-1.00	19.5-21.0	9.00-11.00	max 0.030	max 0.020

Образцы получали многослойной наплавкой плавящимся электродом AISI 304L диаметром 0,8 мм в среде аргона, сварочный ток $I_{св} = 100A$, напряжение дуги $U = 20$ В, полярность обратная. На рис. 2 приставлены изображения поперечных срезов образцов.

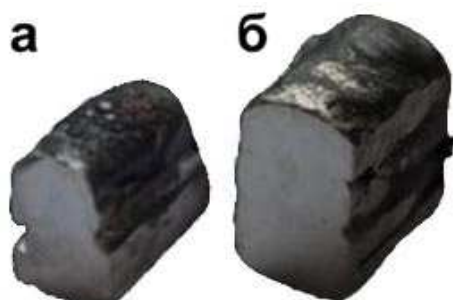


Рис. 2. Поперечные срезы образцов, полученные методом послойного дугового выращивания:
1 – без ограничителей, 2 – с использованием формирующих графитовых полозьев.

Из рисунка 2 видно, что использование формирующих графитовых полозьев позволяет получить итоговое изделие методом послойного выращивания путем наплавления проволоки с геометрией высокой точности, т.е. внешняя поверхность получаемых образцов более ровная и потребует меньше затрат на финишную обработку.

На рис. 3 представлены дендритные структуры зон сплавления поперечных сечений, исследуемых образцов.

Из рис. 3 (а, в) видно, что при сварке без использования ограничителей наблюдаются резкие переходы между зонами сплавления, вызванные повышенным теплоотводом. В свою очередь при использовании формирующих графитовых полозьев (рис. 3 б, г), благодаря ограничению отвода тепла с боковых стенок образцов, наблюдается равномерный переход между наплавляемыми слоями. Помимо этого, при использовании графитовых полозьев наблюдается отсутствие пор во всех слоях итогового образца. Отсутствие подобного вида дефектов позволяет предположить, что у образцов выращенных с использованием графитовых полозьев будут наблюдаться большие значения физико-механических свойств по сравнению с образцами, выращенными без использования ограничителей.

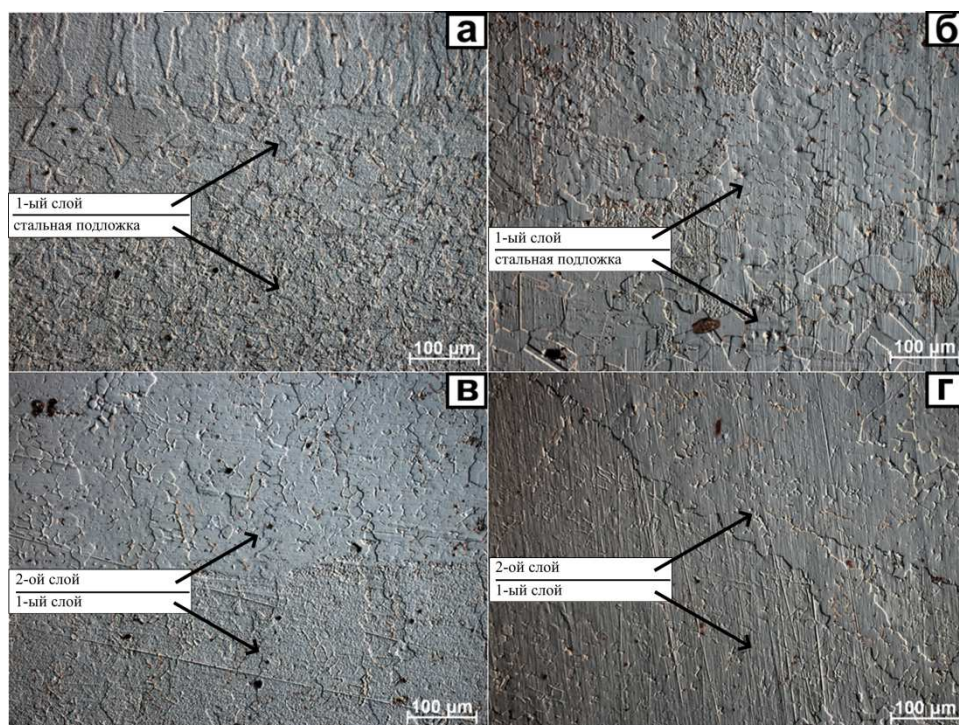


Рис. 3. Оптические изображения структур зон сплавления образцов послойной наплавленной проволоки AISI 304L полученные в режиме дифференциально-интерференционного контраста :
а – переход между стальной подложкой и первым слоем, без ограничителей;
б – переход между стальной подложкой и первым слоем, с использование графитовых полозьев;
в – переход между 1-ым и 2-ым слоями, без ограничителей; г – переход между 1-ым и 2-ым слоями, с использование графитовых полозьев.

Таким образом, использование графитовых формирующих полозьев, при изготовлении послойно выращенных образцов методом MIG сварки в среде аргона, позволяет получать готовое изделие с однородной структурой и достаточно высокой точностью допуска на размер. Полученные результаты говорят о необходимости проведения дальнейших исследований по изучению механических свойств образцов, получаемых описанным способом.

Список используемых источников:

1. Zhai, Y. Additive Manufacturing: Making Imagination the Major Limitation/ Y. Zhai, D. A. Lados & J.L. LaGoy // JOM. – 2014. – №. 66. – pp. 808–816.
2. Laser and electron-beam powder-bed additive manufacturing of metallic implants: A review on processes, materials and designs / S.L. Sing et al. // J. Orthop. Res. – 2015. – №34. – pp. 369–385.
3. Laser powder-bed fusion additive manufacturing: Physics of complex melt flow and formation mechanisms of pores, spatter, and denudation zones / S.A. Khairallah et al. // Acta Mater. – 2016. – №108. – pp. 36–45.
4. Karayel E. Additive manufacturing method and different welding applications/ E. Karayel, Y. Bozkurt // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – Vol.9, Iss. 5. –pp. 11424-11438

5. A review of the wire arc additive manufacturing of metals: Properties, defects and quality improvement/ B. J. Wu et al. // *Manuf. Process.* – 2018. – №35. – pp. 127–139.
6. Influence of hardness on the wear resistance of 17-4 PH stainless steel evaluated by the pin-on-disc testing / J. Bressan et al. // *J. Mater. Process. Technol.* – 2008. – Vol.205, Iss. 1-3. – pp. 353–359.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ПРОДУКЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ДЕФЕКТОВ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ТРУБ

А.А. Ощепкова, магистр, Б.И. Мандров к.т.н., доц.

Алтайский государственный технический университет

им. И.И. Ползунова, 656099, г. Барнаул, пр. Ленина 46, тел. (3852)-29-08-79

aE-mail: leha1996_25@mail.ru

Аннотация: Показано, что визуальный и измерительный контроль не гарантирует предотвращение выпуска дефектной продукции, предложено использовать частотный анализ для выявления значимости типа дефекта для конкретного вида продукции, на примере сварных соединений труб проведен анализ выявленных недопустимых дефектов, на основе метода ABC Дж. Джурана и диаграммы Парето проведено деление дефектов на группы значимости, предложено провести анализ причинно-следственных связей между видами дефектов и условиями производства.

Abstract: The paper shows that visual and dimensional inspection does not reliably prevent release of defective product and suggests using frequency analysis to define significance of different types of defects for specific types of production. Using the example of welded pipe joints, the analysis of detected rejectable defects is conducted, and defects are broken down into groups based on significance using ABC method by J. Juran and Pareto diagram. It is suggested to conduct a study of cause-and-effect relationship between the types of defects and production environment.

Ключевые слова: дефекты, визуальный и измерительный контроль, метод ABC Дж. Джурана, диаграмма Парето, значимость дефектов, группы значимости дефектов, причинно-следственные связи, производство.

Keywords: defects, visual and dimensional control, ABC method by J. Juran, Pareto diagram, significance of defects, defect groups based on significance, cause-and-effect relationship, production.

При изготовлении сварных конструкций возможно образование дефектов сварных соединений: подрезов, пор, непроваров; шлаковых включений, отклонений геометрических размеров сварного шва и т.п. Для предотвращения попадания к потребителю некачественной продукции ее изготовитель осуществляет контроль наличия дефектов, определение их размеров, сравнение полученных значений с требованиями нормативной документацией.

Обязательным методом, проводимым в объеме 100% является визуальный и измерительный контроль (далее ВИК). Однако проведение ВИК даже таком объеме не гарантирует предотвращение выпуска дефектной продукции. По мнению специалистов, работающих в области управления качеством продукции [1, 2], хорошие рекомендации по предупреждению производства бракованной продукции можно разработать с помощью методов, направленных на проведение анализа значимости, частотности возникновения дефектов, установления причинно-следственных связей между дефектами и условиями производства (диаграмма Парето и метод ABC Дж. Джурана. Устранение причин образования дефектов на всех стадиях производства продукции способствует росту ее конкурентоспособности.

В данной работе была предпринята попытка проверки возможности использования диаграммы Парето, метода ABC Дж. Джурана для оценки дефектов стыковых соединений труб диаметром от 25 до 159 мм с толщиной стенок от 2,5 до 14 мм, выполненных в заводских условиях ручной дуговой сваркой. Из «катушек» труб длиной 150 мм собиралось и сваривались стыки. В качестве материала труб использовались углеродистые и низколегированные стали, относящихся по классификации Национального Агентства Контроля Сварки (далее НАКС) к группе M01.

Перед сборкой «катушки» труб очищались от поверхностных загрязнений и зачищались до металлического блеска снаружи и внутри на ширине, указанной в операционной карте. При сборке стыков использовалась технологическая оснастка. Прихватка и сварка стыков выполнялась элек-

тродами с основным покрытием, прокаленными по режимам, указанным в их паспортах. Сборку и сварку в положении В1 выполняли аттестованные сварщики, имеющие (4-5) разряд.

Сваренные стыки контролировались ВИК. При обнаружении недопустимых дефектов в протоколах контроля производилось их описание. Для формирования диаграммы Парето по данным 54 протоколов стыков был составлен перечень описанных дефектов. Всего в вышеуказанном количестве стыков было обнаружено 97 дефектов. Однотипные дефекты объединялись в группы. Далее определялось число дефектов каждого признака, процент числа дефектов по каждому признаку к общей общей сумме дефектов и другие показатели, приведенные в таблице 1.

Используя метод АВС Дж. Джурана, была проведена обработка данных таблицы 1 по частотности обнаружения дефектов каждого признака и определен уровень его важности (рисунок 1). Анализ полученных результатов показал, что к числу наиболее часто выявляемых в выборке дефектов относятся:

- Превышение допустимой ширины сварного шва,
- Скопление пор,
- Превышение допустимой выпуклости шва.

В сумме эти виды дефектов составляют ~ 70%, что хорошо укладывается в метод Парето и образуют группу «А» согласно методу АВС Дж. Джурана. Группу «В» образуют дефекты:

- Подрез,
- Непровар. Неполный провар корня шва.

Группу «С» образуют дефекты:

- Не полное заполнение разделки,
- Шлаковое включение.

Прожог был обнаружен один раз на тонкостенной трубе, поэтому был отнесен к группе дефектов «Прочие».

Таблица 1

Исходные данные для формирования диаграммы Парето*

№ п/п	Вид дефекта, выявляемый ВИК	Число дефектов каждого признака	Накопленная сумма дефектов	Процент числа дефектов по каждому признаку к общей сумме, %	Накопленный процент, %	Уровень важности дефекта
Вид свариваемых деталей - трубы						
1	Превышение ширины шва	25	25	26	26	А
2	Скопление пор	22	47	23	48	А
3	Превышение выпуклости шва	21	68	22	70	А
4	Подрез	10	78	10	80	В
5	Непровар. Неполный провар корня шва	10	88	10	91*	В
6	Не полное заполнение разделки	4	92	4	95	С
7	Шлаковое включение	4	96	4	99	С
8	Прочие (прожог)	1	97	1	100,00	
9	Итого	97			1,000	

*Разрядность значений процентов в таблице увеличена до целого числа

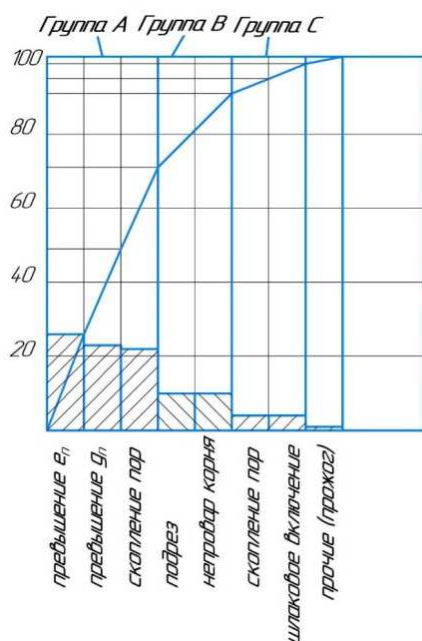


Рис. 1. Диаграмма Парето, оценивающая значимость дефектов сварных соединений труб в выборке

Выводы:

1. Проведен анализ протоколов ВИК с недопустимыми дефектами стыковых соединений труб.
2. На основе метода АВС Дж. Джурана дефекты сформированы группы важности дефектов.
3. Показана корреляция видов дефектов стыковых соединений труб разных диаметров.

Список использованных источников:

1. Тавер, Е.И. Введение в управление качеством: учеб. пособие - Москва : Машиностроение, 2013. - 368 с.
2. Сара Бослаф. Статистика для всех. / Пер. с англ. П. А. Волкова, И. М. Флямер, М. В. Либерман, А.А. Галицына. – Москва : ДМК Пресс, 2015. – 586 с.: ил.

АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В СВАРОЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Кузнецов М.А., к.т.н., И.Ф. Турсунов, студент гр. 10А72

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета,

652055, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел 8(38451)7-77-61

E-mail: kuznechik_85@mail.ru

Аннотация: В работе представлен современное состояние и тенденции развития аддитивного производства. Рассмотрены основные направления развития и технологические особенности методов реализации данного направления. Отмечена актуальность и перспективность направления, основанного на дуговых методах плавления электродной проволоки (GMAW и GTAW).

Abstract: The paper presents the current state and development trends of additive manufacturing. The main directions of development and technological features of the methods for the implementation of this direction are considered. The relevance and prospects of the direction based on arc methods of electrode wire melting (GMAW and GTAW) are noted.

Ключевые слова: Аддитивные технологии, сварка плавящимся электродом, присадочная проволока.

Keyword: Additive technologies, consumable electrode welding, filler wire.

Аддитивное производство (Additive Manufacturing) или технология трехмерной печати объемных изделий сложной формы появилась в конце 1980-х годов. Передовой на тот момент являлась

технология стереолитографии (SLA), осуществляемая за счет воздействия лучом ультрафиолетового лазера на светочувствительные жидкие фотополимеры и их последующее затвердевание [1,2].

В настоящее время существует достаточно большое количество технологий аддитивного производства. Условно их можно разделить по методам формирования слоя: «BedDeposition»; «Direct Deposition» [3,4]. Указанные выше технологии позволяют получать изделия, как из пластика, так и из металла.

Получение металлических изделий происходит за счет плавления порошка, присадочной проволоки или листового металла (рисунок 3) [5-10]. Изготовление металлических изделий путем расплавления сварочной проволоки не получили большого распространения. Хотя при применении данного способа имеются минимальные потери расплавляемой проволоки и почти 100% проволоки тратится на изготавливаемое изделие [11,12].

В свою очередь дуговые методы плавления присадочной проволоки (GMAW и GTAW) позволяют:

- получать прочное сплавление слоев;
- создавать хорошую защиту изготавливаемого изделия от воздействия окружающей среды;
- обладают высокой производительностью.

В настоящее время появилось большое количество исследований, посвященных созданию и металлических изделий, полученных посредством дугового плавления присадочной проволоки, что доказывает актуальность и перспективность данного направления.

Авторами [13] были изготовлены объемные изделия прямоугольной и трапецеидальной формы. Высота стенки составляла порядка 100 мм и была выполнена за 70 проходов. Проведенный микроструктурный анализ вырезанных вдоль и поперек образцов, показал наличие равномерной, равноосной ферритно-перлитной структурой

В работе [14] для исследования влияния различной кривизны поверхности на процесс изменения геометрии слоя, были изготовлены изделия (рисунок 6):

- коробчатой формы с прерыванием слоя;
- радиальной формы с изменением радиуса;
- радиальной формы непрерывно по спирали.

Процесс создания изделий состоял из нескольких этапов:

- создание трехмерной модели изделия;
- разбивка имеющейся модели на слои;
- определение параметров режима наплавки в зависимости от используемого материала;
- процесс изготовления изделия.

Значительная часть исследований посвящена проблеме оптимизации геометрических размеров наплавляемого слоя. В работе [15] для управления высотой и шириной наплавляемого слоя предложено изменять наклон сварочной горелки.

При изготовлении более тонкостенных изделий с высокой скоростью производства и эффективностью наплавки была предложена идея по использованию двух горелок, формирующих один и тот же слой. При этом способе с увеличением тока дуги ширина наплавляемого валика уменьшилась, а высота увеличилась. Разность высот между точкой зажигания дуги и точкой гашения дуги в наплавляемом слое была уменьшена до 3% [16].

В работе [17] показана принципиальная возможность получения скомбинированного изделия, состоящего из нержавеющей стали и никелевого сплава. Полученные значения механических свойств вблизи границы раздела (твердость и прочность соединения) показали удовлетворительные значения.

В работе [18] было изготовлено изделие из кремниевой мягкой стали с биметаллической бронзой на основе многослойной однопроводной дуговой наплавки. У границы между сталью и бронзой была высокая адгезия без трещин или пор и было получено металлургическое соединение. Предел прочности полученного соединения составил 305 МПа. При этом разрушение произошло около середины бронзовой стороны, доказывая о наличии металлургического соединения.

Разработан и предложен способ электродугового послойного выращивания металлических изделий плавящимся электродом в среде защитных газов. Способ заключается в электродуговом послойном выращивании за счет применения сварки плавящимся электродом в среде защитных газов с использованием разработанного 3D-принтера [19].

Стол спроектирован из следующих узлов – неподвижной рамы, подвижной рамы и рабочей поверхности.

В качестве профиля для неподвижной (1) и подвижной рамы (2) был выбран швеллер (рисунок 1). Размер швеллера выбирался наименьшим, позволяющим установить другие элементы, а именно двига-

тель (3), подшипники скольжения (8) и ходовой винт (9). Все эти элементы решено установить на стенке швеллера, поэтому определяющим размером является высота швеллера. Был выбран швеллер высотой 65 мм. Швеллеры в раме соединены уголками (6). В раме просверлены отверстия, через которые проходят направляющие (4), закрепленные в опорах (7) (рисунок 1). Двигатель соединен через компенсирующую муфту с ходовым винтом (5). Гайка (9) установлена на подвижной раме.

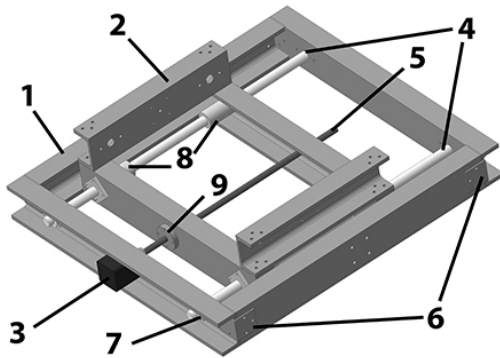


Рис. 1. Неподвижная и подвижная рама

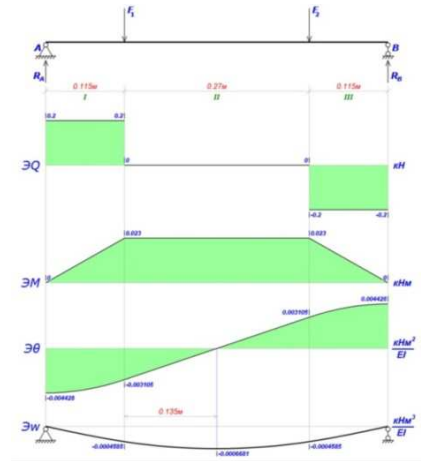


Рис. 2. Эпюры изгибающих моментов и перемещений

Рассчитаны нагрузки и деформации направляющих валов и построены эпюры (рисунок 2). Максимальный изгиб будет достигаться при расположении подвижной рамы на середине. На рисунке приведены эпюры при результирующей нагрузке в 40 кг (подвижная рама+стол+изделие), равномерно распределенной между двумя валами. При данной нагрузке оптимальным является стержень диаметром 12 мм.

В качестве рабочей поверхности стола при проектировании решено использовать перфорированный швеллер, для облегчения массы стола. При выборе данного решения, определяющими будут уже два размера – необходимый размер рабочей зоны и размеры полки, на которую будут установлены подшипники скольжения и ходовой винт (рисунок 3). Был выбран перфорированный швеллер с высотой 200 мм и шириной полки 76 мм.

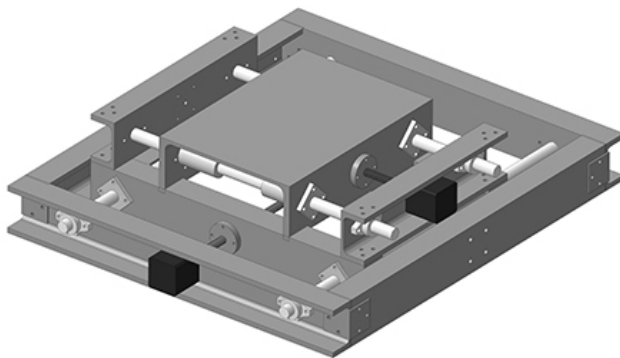


Рис. 3. Подвижный стол

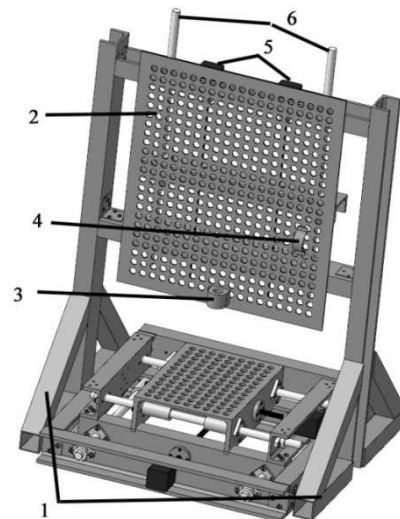


Рис. 4. Модель 3D-принтера

Для перемещения горелки по оси Z была спроектирована и собрана следующая конструкция (рисунок 4), состоящая из двух вертикальных опор (1). В движение приводится перфорированный

лист (2), на котором закреплена горелка с помощью зажима для сопла (3) и хомута держателя (4). Лист приводится в движение двумя серводвигателями (5) и движется по валам (6).



Рис. 5. Изделие цилиндрической формы, наплавленное сварочной проволокой СВ-08Г2С

На разработанном 3D-принтере было произведено выращивание изделий цилиндрической формы сварочной проволокой СВ-08Г2С диаметром 1 мм (рисунок 2) и сварочной проволокой ОК Autrod 347Si диаметром 1 мм. Выращенные цилиндры состоят из 50 слоев. Режимы выращивания: сила тока 70-80А, напряжение 18-20В. Толщина стенки составила 6 мм.

В качестве электроники для управления использовали плату RAMPS 1.4 на основе ArduinoMegas прошивкой Marlin v 2.0, позволяющую проводить точную настройку 3D-принтера.

Электродуговое послойное выращивание происходило по следующей технологии. Создавалась компьютерная 3D модель изготавливаемого изделия посредством CAD систем, которая в дальнейшем разбивалась на слои. Формирование объекта производилось на 3D-принтере. В качестве источника питания применялся инверторный выпрямитель. Слои формировались на подвижном столе, обеспечивающем точное перемещение по заданной траектории по координатам X, Y и движущейся горелки, обеспечивающей точное позиционирование по координате Z в результате плавления проволоки и подплавления поверхности подложки или предыдущего слоя. За один проход наплавался слой толщиной от 3 до 5 мм в зависимости от режимов наплавки.

В результате экспериментальных исследований было произведено выращивание изделий цилиндрической формы сварочной проволокой СВ-08Г2С диаметром 1 мм (рисунок 5) и сварочной проволокой ОК Autrod 347Si диаметром 1 мм. Выращенные цилиндры состоят из 50 слоев. Режимы выращивания: сила тока 70-80А, напряжение 18-20В. Толщина стенки составила 6 мм.

Далее выращенные цилиндры обрабатывали на токарном станке (рисунок 6). Толщина стенки после обработки цилиндра, выращенного сварочной проволокой СВ-08Г2С составила 2 мм, выращенного сварочной проволокой ОК Autrod 347Si составила 4 мм.



а



б

Рис. 6. Изделие цилиндрической формы, наплавленные и обработанные на токарном станке: сварочной проволокой СВ-08Г2С: а – сварочная проволока Св-08Г2с, б – сварочная проволока ОК Autrod 347Si

Вывод.

1. На основе проведенного литературного обзора современного состояния исследовательских работ в области аддитивного производства, одной из перспективных технологий получения металлических изделий являются дуговые методы плавления присадочной проволоки (GMAW и GTAW). Актуальность данного метода заключается в:

- низкой себестоимости наплавочных материалов;
 - реализации на стандартном оборудовании (роботизированные комплексы, автоматические установки);
 - высокой производительности процесса;
 - эффективном использовании наплавочных материалов (минимальные потери).
2. Спроектирован, разработан, изготовлен и апробирован в лабораторных условиях 3D-принтер для электродугового послойного выращивания.
 3. Установлена возможность получения, на заданных режимах выращивания (сила тока 70-80А, напряжение 18-20В, бездефектных изделий цилиндрической формы с толщиной стенки 2-4 мм.

Список используемых источников:

1. Wohlers T. History of additive manufacturing / T. Wohlers, T. Gornet // Wohlers Report. - 2014.
2. Wong K.V. A review of additive manufacturing / K.V. Wong, A. Hernandez // International Scholarly Research Network Mechanical Engineering. - 2012. - Vol. 2012. - Article ID 20876. - 10 pages.
3. Kruth J.P. Progress in additive manufacturing and rapid prototyping / J.P. Kruth, M.C. Leu, T. Nakagawa // CIRP Annals-Manufacturing Technology. - 1998. - №47(2). - P.525-540.
4. Довбыш В. М. Аддитивные технологии и изделия из металла / В.М. Довбыш, П. В. Забеднов, М. А. Зленко // Библиотечка литейщика. - 2014. - № 9. - С. 14-71.
5. Жуков В.В. Аддитивное производство металлических изделий (обзор) / В.В. Жуков, Г.М. Григоренко, В.А. Шаповалов // Автоматическая сварка. - 2016. - № 5-6. - С. 148-153.
6. Коржик В.Н. Трехмерная печать металлических объемных изделий сложной формы на основе сварочных плазменно-дуговых технологий/ В.Н. Коржик, В.Ю. Хаскин, В.И. Ткачук, С.И. Пелешенко, В.В. Коротенко, А.А. Бабич // Автоматическая сварка. - 2016. - № 5-6. - С. 127-134.
7. Carter W.T. Direct Laser Sintering of Metals / W.T. Carter, J. Carter, G.J. Marshall // 4th Solid Freeform Fabrication Symposium. - 1993. - P.51-59.
8. Kruth J.P. Selective laser melting of iron-based powder / J.P. Kruth, P. Mercelis, J. Van Vaerenbergh, L. Froyen, M. Rombouts, B. Lowers // Journal of Materials Processing Technology. - 2003. - Vol. 149 - P.616-622.
9. Larsson M. Rapid Manufacturing with Electron Beam Melting (EBM) - A manufacturing revolution? / M. Larsson, U. Lindthe, O. Harrysson // Solid Freeform Fabrication Symposium. - 2003. - P.433-438.
10. Michaels S. Metal parts generation by three dimensional printing / S.Michaels, E.M. Sachs, M.J. Chima // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. - 1992. - P.244-250.
11. Ding D.H. Wire-feed additive manufacturing of metal components: technologies, developments and future interests / D.H. Ding, Z.X. Pan, D. Cuiuri, H.J. Li, // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Oct. 2015. - P.465-481.
12. Taminger K.M. Electron beam freeform fabrication for cost effective near-net shape manufacturing / K.M. Taminger, Hafley R.A. // 139 specialists meeting on cost effective manufacture via net shape processing. Amsterdam (The Netherlands): NATO. - 2006. - P.16.1- 16.10.
13. Dickens P.M. Rapid prototyping using 3-D welding / P.M. Dickens, M.S. Pridham, R.C. Cobb, I. Gibson, G. Dixon // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. - 1992. - P.280-290.
14. Graff K.F. Very high power ultrasonic additive manufacturing (vhuam) for advanced materials / K.F. Garff, M. Short, M. Norfolk // Proceedings of the Solid Freeform Fabrication Symposium, Austin, USA. - 2010. - P.82-89.
15. Kazanas P. Fabrication of geometrical features using wire and arc additive manufacture / P. Kazanas, P. Deherkar, P. Almeida, H. Lockett, S. Williams // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B-Journal of Engineering Manufacture. - 2012. - P.1042-1051.
16. Yang D.Q. Forming characteristics of thin-wall steel parts by double electrode GMAW based additive manufacturing / D.Q. Yang, C.J. He, G.J. Zhang // Journal of Materials Processing Technology. - Jan. 2013. - P.153-160.
17. Abe T. Dissimilar metal deposition with a stainless steel and nickel-based alloy using wire and arc-based additive manufacturing / T. Abe, H. Sasahara // Precision Engineering- Journal of the International Societies for Precision Engineering and Nanotechnology. - Jun. 2016. - P.387-395.
18. Liu L.M. Additive manufacturing of steel-bronze bimetal by shaped metal deposition: interface characteristics and tensile properties / L.M. Liu, Z.L. Zhuang, F. Liu, M.L. Zhu // International Journal of Advanced Manufacturing Technology. - Dec. 2013. - P.2131-2137.
19. Kuznetsov M.A. Structural and chemical analysis of 3D printed metal products / M.A. Kuznetsov, E.A. Zernin, M.A. Krampit, V.I. Danilov, G.V. Shlyakhova // International Journal of Advanced Science and Technology Vol. 28, No. 15, (2019), pp. 699-709.

СЕКЦИЯ 3: ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

НОВЫЕ МОДЕЛИ ПРИЛОЖЕНИЙ И ОБЛАЧНЫЕ СЛУЖБЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРЕИМУЩЕСТВ В БИЗНЕСЕ

С.В. Разумников, к.т.н., доцент

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, г. Юрга, Ленинградская 26, тел. 8(38451)77764

E-mail: demolove7@inbox.ru

Аннотация: Облачные вычисления кардинально изменили способ разработки, тестирования и развертывания приложений. Легкодоступные облачные ресурсы помогают быстро предоставлять новые приложения и обновлять их. Поэтому возникли новые модели поддержки быстрой разработки и развертывания приложений. В статье рассматриваются новые модели приложений и облачные службы для реализации преимуществ в бизнесе.

Abstract: Cloud computing has revolutionized the way you develop, test, and deploy applications. Easily accessible cloud resources help you quickly deliver and update new applications. Therefore, new models have emerged to support rapid application development and deployment. This article explores new application models and cloud services to realize business benefits.

Ключевые слова: облачные технологии, облачные службы, приложения, преимущества.

Keywords: cloud technologies, cloud services, applications, benefits.

Введение

Концептуально перенос приложений в облачную модель «инфраструктура как услуга» (IaaS) прост и обладает рядом преимуществ. Однако можно предоставить принципиально новые преимущества для ИТ и бизнеса, используя возможности, присущие облаку: новые модели приложений и облачные службы. Рассмотрим, как предприятия могут воспользоваться уникальными возможностями облака, чтобы реализовать их преимущества в бизнесе. Начнем с рассмотрения новых архитектур приложений: их сути и преимуществ.

Что означает трансформация

В стартапе, который создает приложение для Интернета вещей (IoT), собирает выходные данные бытового медицинского оборудования через Интернет. На рисунке 1 показана довольно простая архитектура этого приложения.



Рис. 1. Простая архитектура IoT

Мы видим, что устройства передают данные по протоколу REST непосредственно на веб-сервер или через маршрутизатор на сервер. В свою очередь сервер обрабатывает их и помещает в базу данных. Затем эти данные отображаются в приложении собственной разработки для создания отчетов.

Зададим несколько простых вопросов:

- Что произойдет, когда компания станет невероятно успешной и ей придется непрерывно поддерживать по Интернету десятки тысяч устройств?
- Как компания обеспечит устойчивость?
- Как она будет выполнять профилактическое или прогнозное обслуживание?
- Как обнаруживать ненадежных поставщиков для своих устройств?
- Как компания сможет быстро добавлять новые отчеты?

Такой компании предложили использовать возможности облака. В предлагаемой архитектуре (рис. 2) стартапу необходимо всего лишь подключить свои устройства к различным службам.

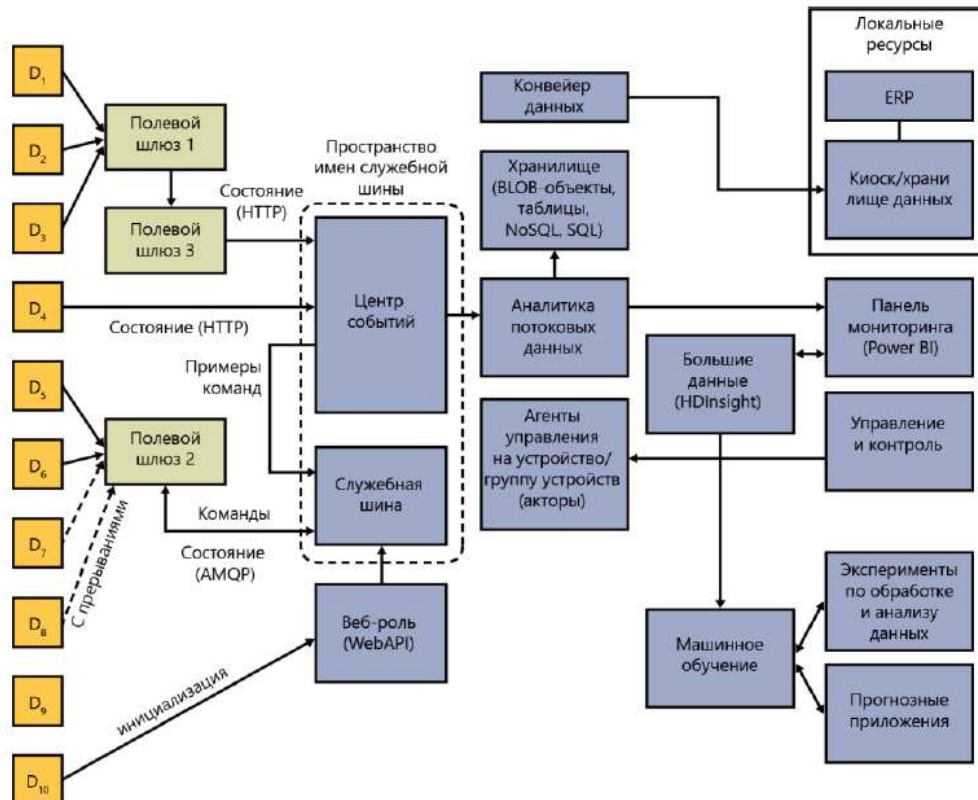


Рис. 2. Многофункциональное комплексное приложение IoT

Используя концентраторы событий Microsoft Azure с высокой пропускной способностью при приеме событий, можно удобно масштабировать приложение стартапа в соответствии с числом устройств. Полученные данные хранятся в таблицах Azure, при этом автоматически создаются две реплики. Это гарантирует защиту от потери данных. Данные можно анализировать в Azure HDInsight с помощью программ, обрабатывающих большие объемы информации в соответствии с моделью MapReduce. Они предоставляют возможность использовать в реальном времени программируемые команды и элементы управления. Можно создавать приложения машинного обучения для прогнозирования скачков продаж или сбоев оборудования, при этом все данные можно просматривать на интуитивно понятной, привлекательной панели мониторинга, и все это – с минимальным кодированием.

Иными словами, довольно ограниченное некогда приложение очень быстро стало инновационным, аналитическим и трансформационным.

Это связано с тем, что благодаря преимуществам облака приложения получают в свое распоряжение множество возможностей для расширения.

Платформа как услуга

Перенос приложений в облачную модель IaaS – это один из подходов и наиболее упрощенный. Конечно, IaaS обладает рядом преимуществ, таких как передача ответственности за центр обработки данных поставщику облачных услуг. Чтобы в действительности выполнить трансформацию в облачную модель, необходимо сделать следующий шаг – разработать приложения специально для облака.

IaaS накладывает определенные ограничения: вы по-прежнему отвечаете за поддержку системного программного обеспечения, операционной системы и базы данных для приложения, а также за периодические исправления и обновления программного обеспечения. Фактически, можно сказать, что IaaS – это только первый шаг к использованию всех возможностей облака.

На рисунке 3 показано, что в моделях «платформа как услуга» (PaaS) вы поддерживаете только свое приложение (синие поля на рисунке), а системное программное обеспечение предоставляет и поддерживает поставщик облачных услуг. Кроме того, решения PaaS обычно обеспечивают удобную масштабируемость и устойчивость с помощью горизонтального масштабирования и репликации данных. Чтобы надежно управлять удостоверениями, PaaS может взаимодействовать с облачными службами, например с Microsoft Azure Active Directory (Azure AD).

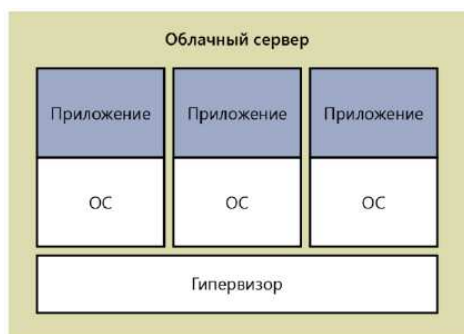


Рис. 3. Модель «платформа как услуга»

Служба веб-приложений Azure App Service, например, дает возможность быстро создать в облаке масштабируемый веб-сайт, приложив минимальные усилия. Microsoft предоставляет базовую веб-инфраструктуру (операционную систему, сетевой стек, хранилище, поддержку языков и функции масштабирования), которая устраняет большую часть временных затрат на управление крупномасштабным веб-приложением. Настройка инструментов масштабирования, резервного копирования и мониторинга для веб-приложений не вызывает затруднений. Она также подключается ко всем остальным службам, которые предоставляет облако для многофункциональных приложений.

Облачные службы Azure – это облачный аналог трехуровневых бизнес-приложений (LoB), использовавшихся десять лет назад. Приложение, относящееся к облачным службам, состоит из трех компонентов: веб-роли (фактически, веб-интерфейс, который масштабируется независимо от остальных частей приложения), рабочей роли (обеспечивает фоновые вычисления и обработку аналогично уровню бизнес-логики в трехуровневой модели) и хранилища (используется входящая в состав Azure база данных SQL Azure, представляющая собой версию SQL Server). Чтобы существующее приложение можно было превратить в облачную службу, необходимо частично его реконструировать: сделать это будет несложно, поскольку намеренно используется модель, аналогичная трехуровневой.

Контейнеры и оркестрация

Приложения PaaS предусматривают компромисс: хотя поставщик облачных услуг предоставляет и поддерживает среду операционной системы, во время выполнения ОС и приложение по-прежнему действуют как виртуальная машина, то есть время запуска у приложения такое же, как у всей системы.

Одной из важнейших новых тенденций в архитектуре приложений стала так называемая контейнерная модель, берущая свое название от вездесущих морских контейнеров, которые мы ежедневно видим на судах и полуприцепах. Программные контейнеры похожи на физические – это стандартизированные пакеты программного обеспечения, которые можно легко переносить и быстро развертывать.

Чтобы понять контейнерную модель, необходимо сравнить ее с моделями IaaS и PaaS. В этих моделях гипервизор управляет несколькими экземплярами операционной системы на сервере (в IaaS операционную систему предоставляете вы, в PaaS – поставщик облачных услуг).

На любом сервере найдется несколько очень крупных операционных систем, работающих одновременно в параллельном режиме, в которых полностью дублируется функциональность (каждая операционная система имеет файловый менеджер, подсистему сети и т. д.).

В модели контейнеров (рис. 4) приложения совместно используют один экземпляр операционной системы. В Microsoft Windows и различных дистрибутивах Linux реализована поддержка изоляции, которая гарантирует, что каждое приложение «владеет» операционной системой. Приложения «упакованы» для развертывания в системах, совместимых с контейнерами.

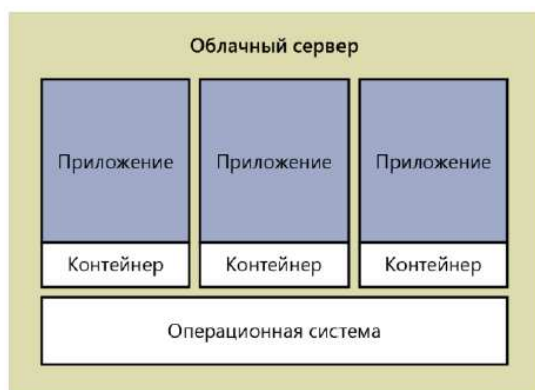


Рис. 4. Архитектура контейнеров

верная логика, поиск, аналитика в реальном времени и т. д. Программное обеспечение для развертывания нужного числа экземпляров каждого контейнера, для управляемого обновления, для обработки ошибок и управления масштабированием называется оркестрацией (рис. 5). Большинство служб оркестрации предоставляет инструменты, позволяющие администраторам создавать правила, например можно запретить размещение на одном сервере контейнеров разных типов или выполнять обработку отказа и восстановления в управляемом последовательном режиме. К хорошо известным продуктам оркестрации относятся Kubernetes, Mesosphere, Docker Swarm и Deis, а также Microsoft Service Fabric.

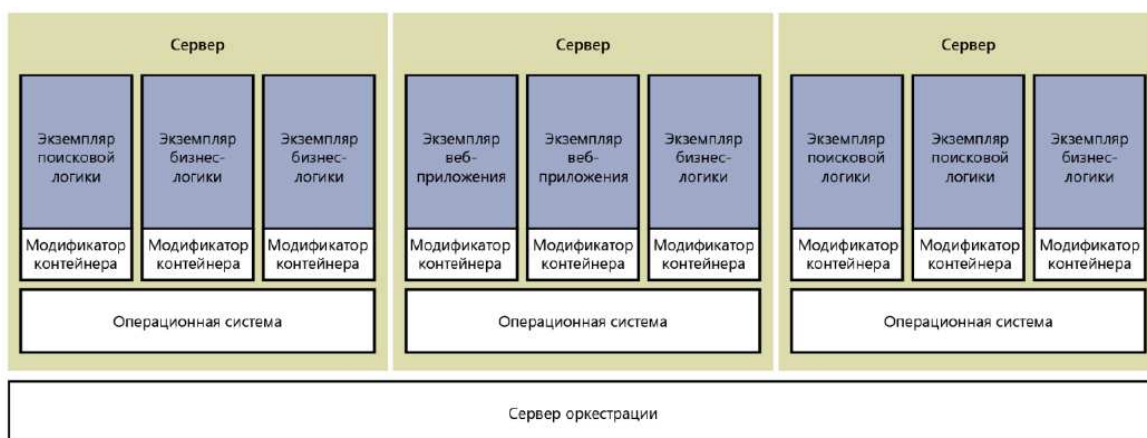


Рис. 5. Оркестрация

Контейнеры – это хороший способ перенести устаревшие приложения в облако и повысить эффективность. Специалисты ИТ-отдела Microsoft перенесли ряд приложений в контейнеры Docker на платформе Azure и получили четыре основных преимущества:

- Более эффективное использование инфраструктуры.
- Стандартизированная конфигурация инфраструктуры.
- Изолированные среды приложений.
- Улучшенные возможности переноса и повторного использования приложений.

По завершении пробного переноса 10 приложений инфраструктура ИТ-отдела Microsoft стала на 400 % компактнее, чем без контейнеров, а общая инфраструктура уменьшилась на 300 %.

Микрослужбы

Термин «микрослужбы» появился несколько лет назад. Он охватывает подходы, при которых крупные целостные приложения разбиваются на небольшие компонентные службы. Например, на рисунке 5 мы видим всего три крупномодульных компонента приложения: веб-сервер, бизнес-логика и база данных.

Однако если мы создаем приложение для электронной коммерции, возникнет ряд вопросов.

Возможно, для более эффективного использования ресурсов лучше создать группу для разработки компонента «Каталог», другую – для разработки компонента «Заказ», и еще одну – для внедрения функции поиска (платной или с открытым исходным кодом) стороннего производителя. Затем эти компоненты можно разрабатывать и обновлять независимо друг от друга.

Микрослужбы – это больше архитектурный принцип (или шаблон проектирования), чем реальная технология. Вы можете создавать микрослужбы в IaaS, PaaS или с помощью контейнеров.

Модель акторов

В инструментарии разработчика облачных решений есть еще один инструмент под названием модель акторов (рис. 6). Актор – это простой, обычно небольшой объект в облаке, который обладает уникальной идентичностью, может взаимодействовать с другими акторами и поддерживает состояние. Как правило, акторы представляют физические объекты, например людей или устройства. Для такого рода технологий недавно появился новый термин – цифровой двойник: объект актора, по существу, отражает в цифровом виде то, что происходит в реальном мире. Платформа акторов абстрагирует инфраструктурные концепции, такие как серверы. Это означает, что акторы могут взаимодействовать друг с другом, не зная, на каких физических серверах они находятся.

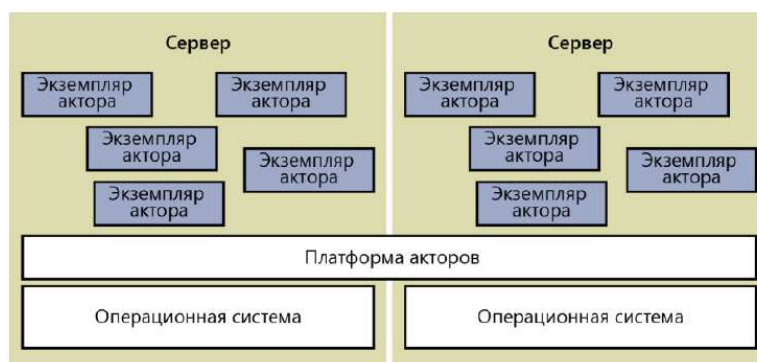


Рис. 6. Модель акторов

Пример использования – сетевые игры, в которых каждый экземпляр актора представляет игрока и содержит состояние, например, текущий счет игрока, расположение в игре и список других участвующих игроков.

Акторов также можно использовать для управления большим числом устройств IoT. Они особенно эффективны, когда есть много похожих устройств, например датчиков контроля. Каждый экземпляр актора может получать обновления состояния от конкретного датчика, например датчика давления, и автоматически уведомлять актора, контролирующего клапан или другое устройство, что необходимо принять соответствующие меры.

Устойчивость в облаке

Важно отметить, что в облаке цены остаются низкими из-за использования недорогого стандартного оборудования. В прошлом предприятия приобретали высокопроизводительные компьютеры для вертикального масштабирования, однако в облаке производительность достигается за счет горизонтального масштабирования. Поэтому вместо покупки мощного суперкомпьютера вы выполняете масштабирование с помощью множества компьютеров в распределенной системе, а это означает, что необходимо подготовиться к случайному сбою.

Рассмотрим требуемое соглашение об уровне обслуживания (SLA). В таблице 1 показан потенциальный совокупный простой для различных уровней SLA.

Таблица 1

Соглашения об уровне обслуживания			
SLA	Время простоя в неделю	Время простоя в месяц	Время простоя в год
99%	1,68 ч.	7,2 ч.	3,65 дня
99,9%	10,1 мин.	43,2 мин.	8,76 ч.
99,95%	5 мин.	21,6 мин.	4,38 ч.
99,99%	1,01 мин.	4,32 мин.	52,56 мин.
99,999%	6 с.	25,9 с.	5,26 мин.

Необходимость в мероприятиях по увеличению числа «девяток» после запятой зависит от бизнес-сценария.

Заключение. Перенос приложений в облако – важная и серьезная задача, требующая изменения способа работы предприятия и ИТ-инфраструктуры. В данной статье были рассмотрены новые архитектуры приложений: их суть и преимущества. Показано, как предприятия могут воспользоваться уникальными возможностями облака, чтобы реализовать их преимущества в бизнесе.

Работа выполнена при финансовой поддержке стипендии Президента РФ.

Список используемых источников:

1. Гребнев Е. Облачные сервисы. Взгляд из России – М.: CNews, 2011. – 282.
2. Разумников С.В. Планирование развития облачной стратегии на основе применения многокритериальной оптимизации и метода STEM // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2020. Т. 23. № 1. С. 53-61.
3. Razumnikov S.V., Kurmanbay A.K. Models of evaluating efficiency and risks on integration of cloud-base IT-services of the machine-building enterprise: a system approach // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. - 2016 - Vol. 124 - №. 1, Article number 012089. - p. 1-5.
4. Разумников С.В. Интегральная модель оценки результативности внедрения облачных ИТ-сервисов // Научные труды Вольного экономического общества России. - 2016 - Т. 201. № 4. - С. 492-504.
5. Razumnikov S., Prankevich D. Integrated model to assess cloud deployment effectiveness when developing an it-strategy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016. – Vol. 127: Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering.
6. Разумников С.В. Некомпенсаторное агрегирование и рейтингование провайдеров облачных услуг // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. 2018. Т. 21. № 4. С. 63-69.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ЭТАПЕ СТРАТЕГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ГИБРИДНОЙ МОДЕЛИ СТРАТЕГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПАССАЖИРСКИМ АВТОТРАНСПОРТНЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

О.А. Колегова, специалист по УМР каф. ИС

*«Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета»,*

652050, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451) 7-77-64

E-mail: Olga030188@mail.ru

Аннотация: В статье представлена математическая модель задачи принятия решений для этапа стратегического контроля гибридной модели стратегического управления пассажирским автотранспортным предприятием. Отличительной особенностью гибридной модели является возможность формализации и обработки экспертных оценок на всех этапах стратегического управления: разработки стратегических целей, отбора проектов развития и контроля выполнения стратегии.

Abstract: The article presents a mathematical model of the decision-making problem for the stage of strategic control of the hybrid model of strategic management of a passenger transport enterprise. A distinctive feature of the hybrid model is the ability to formalize and process expert assessments at all stages of strategic management: developing strategic goals, selecting development projects, and monitoring the implementation of the strategy.

Ключевые слова: модель задачи принятия решений, стратегия, нечеткие множества, контроль реализации стратегии, пассажирское автотранспортное предприятие.

Keywords: model of the decision-making problem, strategy, fuzzy sets, strategy implementation control, passenger transport company.

Введение

В работе [1] описан интегрированный подход к разработке гибридной модели стратегического управления пассажирским автотранспортным предприятием. Особенность данного подхода заключается в том, что его использование в гибридной модели позволяет реализовать три базовых этапа стратегического управления (целеполагания, стратегического выбора, контроля выполнения стратегии) одновременно, путем комбинирования нескольких методов на разных этапах и установления

взаимосвязи между ними. Выходная информация каждого из этапов стратегического управления становится входной информацией для последующего, обеспечивая взаимосвязь всех этапов системы стратегического управления предприятием. Таким образом, обеспечивается принцип непрерывности, системности и комплексности.

В рамках разработки данной модели в работе [2] описана модель задачи принятия решений для двух базовых этапов стратегического управления предприятием: целеполагания и стратегического выбора. Модель, описанная для данных этапов управления благодаря интеграции двух методов ССП и МАС, позволяет разработать систему стратегических целей и выбрать наиболее приоритетные для достижения общей стратегической цели предприятия. Отличительной особенностью модели, описанной в [2] является возможность формализации и обработки экспертных знаний при принятии решений в условиях неопределенности. В данной статье рассмотрим модель задачи принятия решений для этапа стратегического контроля.

Постановка задачи принятия решения на этапе стратегического контроля

На этапе стратегического контроля возникает задача оценки степени продвижения предприятия к заданному стратегическому состоянию. С этой целью на этапе стратегического выбора ЛППР разрабатывает целевые стратегические ориентиры. Степень эффективности выполнения стратегии отслеживается путем соответствия показателей-индикаторов целевых ориентиров стратегической карты [3] их запланированным значениям. Выполнение общей стратегии предприятия определяется степенью достижения всех запланированных целевых ориентиров. При возникновении ситуации несоответствия фактических показателей целевых ориентиров их запланированным значениям проводится корректировка или просчитывается иное стратегическое направление развития предприятия. В качестве целевых ориентиров этапа стратегического контроля могут использоваться не только количественные, но и качественные показатели, имеющие разную шкалу измерений. Оценка и измерение качественной информации предполагает привлечение экспертов, которые могут представить суждения об успешности выполнения стратегии предприятия.

Для того чтобы решить задачу оценки эффективности выполнения стратегии автотранспортного предприятия для этапа стратегического контроля сформулируем модель задачи принятия решений в общем виде (1).

$$\langle S_0, T, R \mid S, S_{bs}, X_{bs}, D_{bs}, V_{bs}, V_s, P, C(S), V_{s0}, K, F(f) \rangle \quad (1)$$

где S_0 – стратегическое состояние, которое должно быть достигнуто предприятием при выполнении стратегии развития; T – промежуток времени, в течение которого необходимо принять решение; R – ресурсы, необходимые для принятия управленческих решений (человеческие, материальные, информационные);

$S = \{ S_1, S_2, \dots, S_n \}$ – множество целевых стратегических ориентиров стратегической карты, достижение которых определяет выполнение стратегии предприятия;

$S_{bs} = \{ S_{bs1}, S_{bs2}, \dots, S_{bsm} \}$ – множество сбалансированных показателей-индикаторов, определяющих степень достижения стратегических целевых ориентиров стратегической карты;

$X_{bs} = \{ X_{bs1}, X_{bs2}, \dots, X_{bsm} \}$ – множество формализованных описаний показателей стратегических ориентиров предприятия, характеризующих допустимый или требуемый уровень значения показателя для достижения стратегических целевых ориентиров стратегической карты;

$V_{bs} = \{ V_{bs1}, V_{bs2}, \dots, V_{bsm} \}$ – множество оценок, характеризующих степень достижения показателей целевых ориентиров стратегической карты предприятия в заданный момент времени;

$D_{bs} = \{ D_{bs1}, D_{bs2}, \dots, D_{bsn} \}$ – множество ограничений, которые необходимо учесть при формализации показателей стратегических ориентиров;

$P = \{ P_1, P_2, \dots, P_l \}$ – временные интервалы, в течение которых реализуется функция стратегического контроля (осуществляется оценка выполнения стратегии предприятия);

$V_S = \{V_{S_1}, V_{S_2}, \dots, V_{S_n}\}$ – множество оценок, характеризующих степень достижения целевых ориентиров стратегической карты предприятия в заданный момент времени;

$C(S)$ – функция, описывающая взаимосвязанность и влияние отдельных целевых ориентиров стратегической карты на достижение заданного стратегического состояния предприятия S_o ;

$V_{S_0} = \{V_{S_{0_1}}, V_{S_{0_2}}, \dots, V_{S_{0_n}}\}$ – множество оценок достижения целевого стратегического состояния предприятия в интервалы времени P ;

K – критерий интерпретации оценок достижения целевого стратегического состояния предприятия;

$F(f)$ – функция, определяющая групповое предпочтение (оценки) ЛПР;

f – индивидуальные предпочтения (оценки);

В формуле (1) слева от вертикальной черты расположены известные, а справа – неизвестные элементы задачи принятия решения.

На этапе стратегического контроля экспертам необходимо решить следующие задачи:

Для каждого показателя целевых ориентиров стратегической карты развития предприятия $S_{bs} = \{S_{bs_1}, S_{bs_2}, \dots, S_{bsm}\}$ предоставить экспертные суждения о степени соответствия показателей требуемым плановым значениям $V_{bs} = \{V_{bs_1}, V_{bs_2}, \dots, V_{bsn}\}$. Т.е. экспертам необходимо оценить каждый из показателей целевого ориентира, присвоив ему уровень достижения значений: «низкий», «средний» или «высокий» с точки зрения достижения целевых ориентиров стратегической карты.

На основании достигнутых значений показателей целевых ориентиров стратегической карты предприятия $V_{bs} = \{V_{bs_1}, V_{bs_2}, \dots, V_{bsm}\}$ в момент времени P реализации стратегии оценить степень достижения $V_S = \{V_{S_1}, V_{S_2}, \dots, V_{S_n}\}$ целевых стратегических ориентиров $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ в период $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i\}$ с точки зрения достижения целевого стратегического состояния предприятия S_0 .

На основании достигнутых значений целевых ориентиров в момент времени P реализации стратегии предприятия $V_S = \{V_{S_1}, V_{S_2}, \dots, V_{S_n}\}$ и функции $C(S)$, характеризующей влияние отдельных целевых ориентиров стратегической карты предприятия на достижение состояния предприятия S_0 , оценить степень выполнения стратегии развития предприятия $V_{S_0} = \{V_{S_{0_1}}, V_{S_{0_2}}, \dots, V_{S_{0_n}}\}$ в период $P = \{P_1, P_2, \dots, P_i\}$.

Заключение

Для решения задачи оценки эффективности реализации стратегии автотранспортного предприятия была сформулирована модель задачи принятия решений для этапа стратегического контроля. Модель задачи принятия решений включает возможность применения экспертных суждений для оценки степени выполнения показателей целевых стратегических ориентиров стратегической карты развития предприятия. На основании оценки выполнения показателей стратегических ориентиров рассматривается возможность достижения самих целевых ориентиров предприятия для достижения целевого стратегического состояния предприятия. Применение экспертных оценок позволяет работать не только с количественными, но и с качественными, плохоформализуемыми показателями, характеризующими все аспекты финансово-хозяйственной деятельности автотранспортного предприятия.

Благодаря использованию комплексного подхода к разработке гибридной модели стратегического управления пассажирским автотранспортным предприятием [1] результаты стратегического контроля могут быть использованы в последующих циклах стратегического управления. Использование модели задачи принятия решений на этапе стратегического контроля позволяет отслеживать результативность выполнения стратегии на определенных этапах ее реализации в соответствии со стратегической картой развития предприятия и в случае необходимости осуществлять ее корректировку.

Список используемых источников:

1. Колегова О.А. Основные подходы к разработке гибридной модели поддержки принятия решений стратегического управления пассажирским автотранспортным предприятием / О. А. Колегова, А. А. Захарова // Современные технологии принятия решений в цифровой экономике сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 15-17 ноября 2018 г., г. Юрга: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ); под ред. А.А. Захаровой, Е.В. Телипенко, Е. В. Молниной. – Томск : Изд-во ТПУ , 2018 . – [С. 159-163].
2. Колегова О.А. Модель оценки и выбора проектов стратегического развития автотранспортного предприятия на основе системы сбалансированных показателей и метода аналитических сетей / О. А. Колегова, А.А. Захарова // Вестник ВГУ, серия Системный анализ и информационные технологии – 2019 . – № 4. – [С. 95-108].
3. Колегова, О.А. Разработка модели поддержки принятия решений при выборе стратегии государственного пассажирского автотранспортного предприятия / О.А. Колегова, А.А. Захарова // Фундаментальные исследования. – 2017. – № 11, Ч. 2 . – [С. 294-299].

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПЛАТФОРМА ОПЕРАТИВНОГО РЕМОНТА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СРЕДСТВАМИ АДДИТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В.С. Котов^{1,а}, к.т.н., доц., В.В. Барсков², к.т.н., доц., А.Е. Никифоров³

¹Военный институт (Военно-морской политехнический)

Военного учебно-научного центра Военно-Морского Флота

«Военно-морская академия им. Н.Г. Кузнецова»,

196604, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский б-р, д. 1,

²Высшая школа энергетического машиностроения, Института энергетики,

Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого

195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29,

³Акционерное общество «Конструкторское бюро специального машиностроения»,

192012, г. Санкт-Петербург, пр. Обуховской обороны, д. 120

^аE-mail: legkieshagi@yandex.ru

Аннотация: В статье рассмотрен зарубежный опыт применения средств аддитивного производства для решения задач оперативного ремонта технических систем. Определена необходимость создания информационной платформы для обеспечения эффективного применения средств аддитивного производства за счёт каталогизации элементов техники и соотношения их с характеристиками и возможностями аддитивного оборудования, имеющегося в распоряжении ремонтных подразделений путем применения граф-моделей, которые позволяют эффективно решать задачи классификации и поиска взаимосвязей информационных объектов.

Abstract: The article considers the foreign experience of using additive manufacturing tools to solve the problems of operational repair of technical systems. The necessity of creating an information basis to ensure the effective use of additive manufacturing tools by cataloging the elements of equipment and their correlation with the characteristics and capabilities of additive equipment available to repair departments through the use of graph models that will effectively solve the problems of classification and search for relationships of information objects.

Ключевые слова: аддитивное производство, оперативный ремонт, информационная платформа, классификация, граф-модель, техническая система

Keyword: additive manufacturing, operational repair, information basis, classification, graph model, technical system

Развитие аддитивных технологий порождает различные направления их применения. Одним из таких направлений является использование средств аддитивного производства для оперативного ремонта технических систем как в мирной, так и в военной областях. В последнем случае скорость ремонта техники имеет особую ценность.

Зарубежные военные ведомства совместно с научно-исследовательскими организациями ведут работы по оценке возможностей и эффективности применения аддитивных технологий в ремонте военной техники.

Открытыми информационными источниками [2, 3] освещен опыт восстановления работоспособного состояния отдельных элементов вооружения и военной техники на кораблях военно-морских сил США и Китая с использованием бортового 3D-принтера. Это ремонт механизма открытия ангара на эсминце УРО Chung-Hoon (DDG-93), изготовление шестерни редуктора шпиля на фрегате и восстановление подшипникового узла на эскадренном миноносце "Harbin" (112). В обоих случаях восстановлению подвергнуты детали, которые отсутствовали в комплектах корабельного ЗИП, а изготовление таких элементов, даже при наличии на борту корабля необходимых материалов, затруднено из-за сложности процесса изготовления традиционными способами (токарные работы, фрезерование, штамповка, литье и т.д.), либо низкого уровня квалификации персонала ремонтной бригады.

Примерами наземного применения аддитивных технологий в ремонте военной техники являются изготовление вентилятора двигателя танка Abrams [4], а также развертывание в полевых условиях мобильной мастерской ВС США в Афганистане, и, как частный случай, оперативное изготовление в ней приспособлений для сошек пулемета М249 посредством аддитивных установок [1].

Для обеспечения оперативности ремонта технических систем и возможности его осуществления персоналом низкой квалификации требуется создание информационной платформы, позволяющей каталогизировать элементы техники и соотносить их с характеристиками и возможностями аддитивного оборудования, имеющегося в распоряжении.

Авторами сделана попытка определить основные свойства рассматриваемой информационной платформы и направления её развития. Предложен прототип алгоритма.

Исходя из возможностей аддитивных технологий, их применение позволит расширить перечень устранимых отказов и неисправностей [5]. Для решения задачи определения целесообразности проведения ремонта, необходимо произвести декомпозицию каждой конкретной технической системы, основываясь на показателях надежности, составить дерево отказов с последующим анализом свойств каждого элемента [6].

Классифицирующими признаками отдельных элементов технической системы, помимо массогабаритных характеристик, будет являться целесообразность изготовления, возможность замены на материал, используемый в аддитивном оборудовании, и чувствительность к точности изготовления.

Такой подход позволит создать полную базу данных отказов и неисправностей всех возможных элементов технической системы. Задача создания рассматриваемой базы данных представляется сложной и ресурсоёмкой, так как требует перебора больших массивов данных (материалы, технологии изготовления и т.д.), что приводит к необходимости оптимизации исходных данных и получения выборки схожих элементов.

Для обработки перечисленных данных необходимо автоматизировать процесс поиска схожих элементов посредством создания информационной модели технической системы. В основу создания информационной модели должны быть положены методы отображения сложных объектов. Одним из способов поиска оптимальной аддитивной технологий и множества элементов технической системы для восстановления работоспособного состояния её элементов является применение метода графов (отображения сложных объектов граф-моделями).

Процедура составления граф-модели базируется на глубоком изучении структуры и функционирования исследуемого объекта. Имеющиеся сведения о структуре, составе, способе функционирования, характерных отказах и неисправностях можно использовать для составления детальной модели. Особенностью построения граф-модели сложной технической системы является необходимость её предварительного условного представления в виде некоторого множества составных частей.

В качестве примера рассмотрена конструкция судового газотурбинного двигателя (ГТД), которая представляет собой сложную тепловую машину, содержащую газовоздушный тракт (проточную часть), вращающиеся механические узлы и вспомогательное оборудование. Представление такого сложного объекта с помощью граф-модели позволит более полно описать взаимодействие его многочисленных узлов и элементов и выявить подобные элементы по таким характеристикам как размеры, используемый материал, физико-механические свойства.

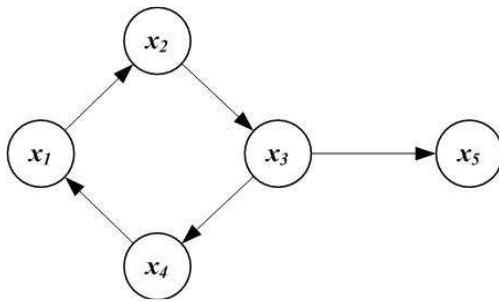


Рис. 1. Ориентированный граф в пространстве свойств газотурбинного двигателя

Для построения модели любой технической системы, на первом этапе моделирования необходимо выбрать наиболее общие свойства функционирования, которые затем должны быть связаны в единую систему. В качестве таких свойств ГТД выделим следующие: свойство сжимать воздух компрессором (x_1), подавать топливо в форсунки и образовывать горючую смесь (x_2), вырабатывать в процессе горения топлива кинетическую энергию газов (x_3), распределять полученную энергию (x_4), выбрасывать отработавшие газы (x_5).

Ориентированный граф, отображающий отношения выбранных свойств функционирования, приведен на рисунке 1.

Далее проводится первичная конкретизация модели на основе функциональной схемы двигателя (рисунок 2).

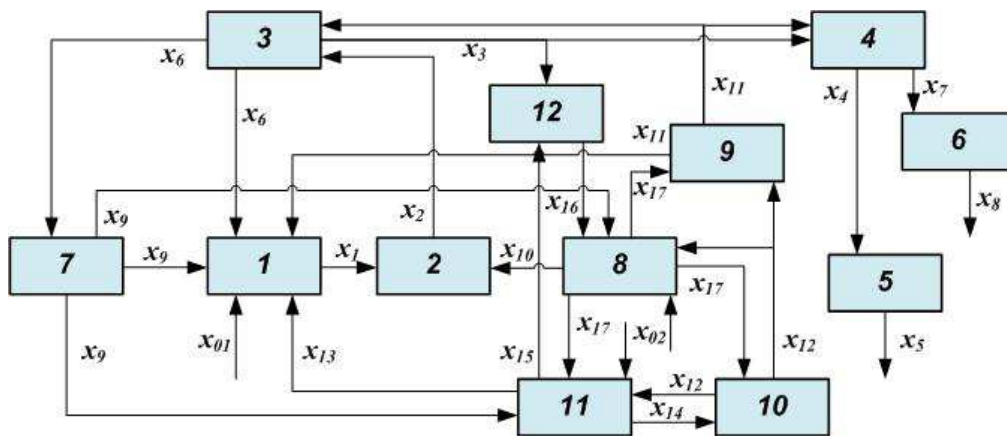


Рис. 2. Функциональная схема ГТД:

1 - компрессор высокого давления; 2 - камера сгорания; 3 - турбина высокого давления;
4 - турбина винта; 5 - выпускное устройство; 6 - привод передачи крутящего момента с редуктором; 7 - привод передачи крутящего момента на агрегаты двигателя;
8 - системы топливопитания и регулирования; 9 - система смазки, охлаждения и суфлирования;
10 - системы электропитания и запуска; 11 - системы промывки и продувания; 12 - усилитель сигнала регулятора температуры; x_{01} - подвод воздуха к компрессору (всасывание); x_{02} - подвод топлива к двигателю; x_1 - производства сжатого воздуха; x_2 - передача выработанной энергии турбине; x_3 - передача энергии турбине винта; x_4 - расширение газа на турбине винта;
 x_5 - выброс газа в окружающую среду; x_6 - передача вращающего момента на компрессор и на привод передачи агрегатов; x_7 - передача вращающего момента на привод редуктора;
 x_8 - передача вращающего момента на валопровод; x_9 - передача вращательного движения агрегатам двигателя; x_{10} - подача топлива; x_{11} - подача масла для смазки и охлаждения узлов двигателя;
 x_{12} - питание системы двигателя электрической энергии; x_{13} - подача сигнала для поворота направляющих аппаратов компрессоров; x_{14} - подача сигнала на отключение пусковой системы;
 x_{15} - появление командного давления от регулятора на ограничение частоты вращения ротора компрессора; x_{16} - сигнал перепуска топлива на слив; x_{17} - командное давление ограничение приведенных чисел оборотов ротора компрессора от регулятора

Такая конкретизация необходима для построения граф-модели двигателя в целом в пространстве свойств (рисунок 3). Полученная модель является первоначальной. Она играет роль исходной для построения конкретизированных, первичных моделей, которые получают путем дополнения модели множеством E – физико-механических свойств, выделения множества R количественных характеристик, а также дополнения ее элементами, отображающими возможные отказы и неисправности.

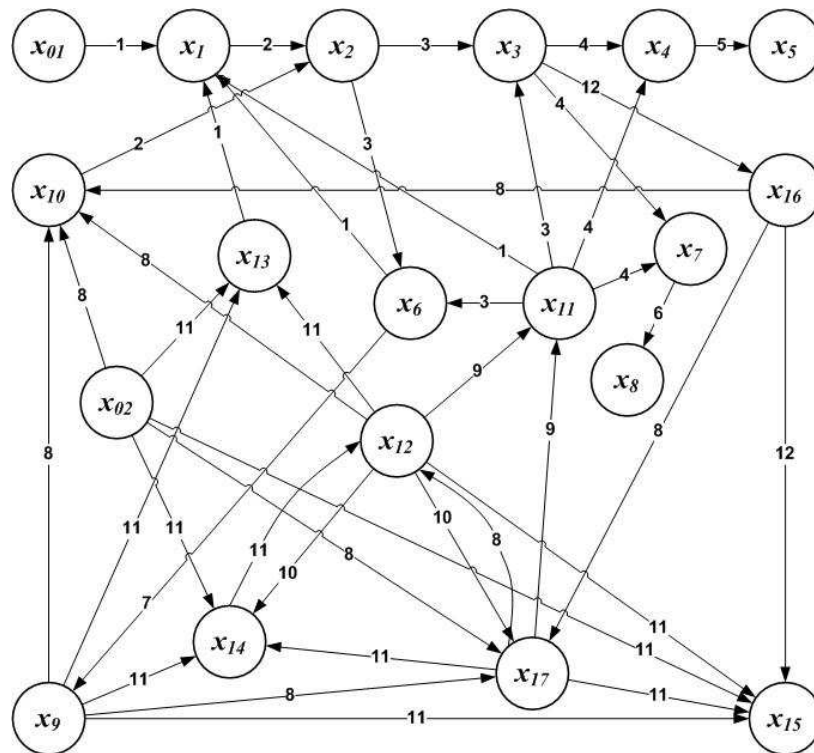


Рис. 3. Граф-модель ГТД в пространстве основных свойств
Ребра граф-модели пронумерованы в соответствии с номерами
блоков функциональной схемы

Список отказов и неисправностей формируется по данным статистики. Совокупность элементов такой статистики образует множество дефектов $D=(d_1, \dots, d_p)$. Эффективность модели повышается при внесении в граф-модель описаний редко встречаемых отказов и неисправностей. [7]

После получения структуры технической системы её формализации и обобщения данных в численном виде работа информационной платформы должна быть направлена на поиск элементов рассматриваемой системы, ремонт которых может осуществляться с применением аддитивного оборудования. Для обеспечения поиска в состав информационной платформы должна входить программа обработки массива данных характеристик ремонтируемых элементов (габаритные размеры, материал, мех. свойства) и массива данных характеристик аддитивного оборудования (габаритные размеры камеры, материалы). Далее устанавливаются критерии или фильтры, по которым будет производиться поиск элементов с выявлением совпадений в выбранных пределах. После выбора указанных параметров программа последовательно производит сравнение двух массивов данных. В результате определяются элементы, изготовление которых оптимально с использованием, имеющегося в распоряжении ремонтного подразделения, аддитивного оборудования. На рисунке 4 приведена обобщенная блок-схема программы поиска.

На основе представленного алгоритма авторами создан прототип программы в системе Mathcad, позволяющий смоделировать работу будущей информационной платформы. Для создания полноценной платформы требуется детализация алгоритмов работы, сбор статистических данных, исследование образцов конструкций, изготовленных с помощью аддитивных технологий и их сравнение с образцами традиционного производства.

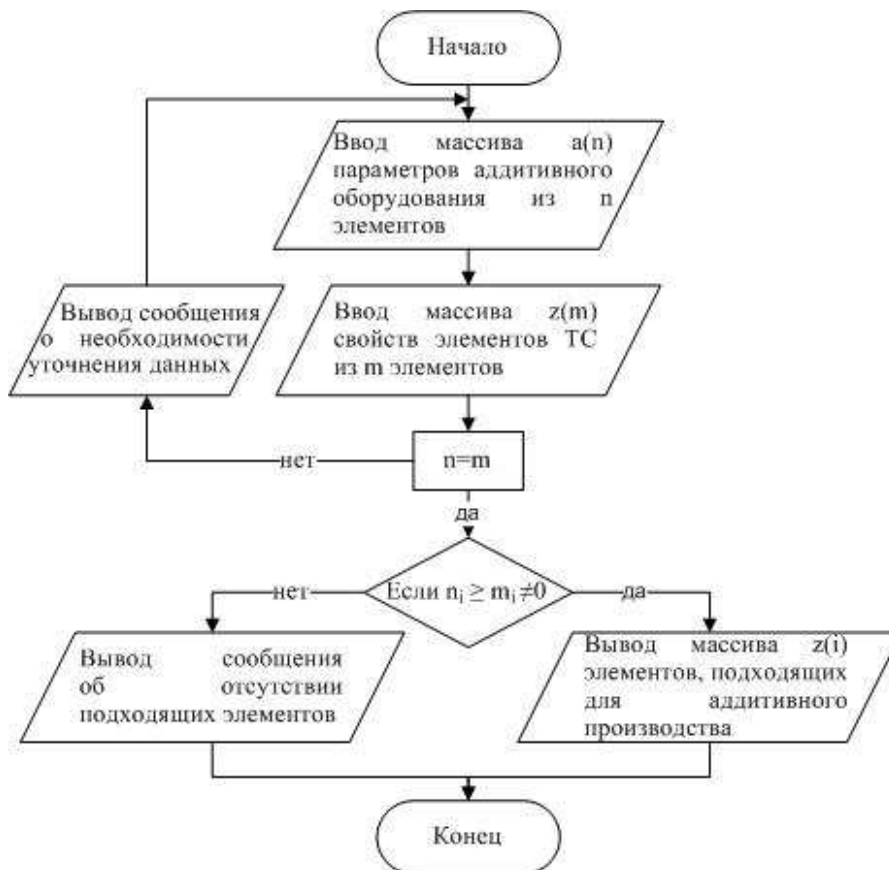


Рис. 4. Блок-схема программы поиска элементов аддитивного производства

Список используемых источников:

1. 3D Printing in the Military [Электронный ресурс] – URL: <https://3dprint.com/165561/3d-printing-in-the-military/>
2. 3D Printing Keeps Navy Ships Up and Running for Minimal Cost [Электронный ресурс] – URL: <https://3dprint.com/225576/3d-printing-navy-ships/>
3. China's PLA Navy Deploys 3D Printers Onboard Warships to Replace Small Parts [Электронный ресурс] – URL: <https://3dprint.com/35981/china-pla-navy-3d-printing/>
4. New Army technology fast-tracks damaged tanks back to combat[Электронный ресурс] – URL: <https://www.foxnews.com/tech/new-army-technology-fast-tracks-damaged-tanks-combat>
5. Беседина, К. С. Применение аддитивных технологий полимеров в машиностроении / К. С. Беседина, Н. А. Лавров, В. В. Барсков // Инновационные материалы и технологии в дизайне : Тезисы докладов IV Всероссийской научно-практической конференции с участием молодых ученых, Санкт-Петербург, 22–23 марта 2018 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный институт кино и телевидения, 2018. – С. 26-27.
6. Жернаков, П. Б. Особенности внедрения аддитивных технологий в систему войскового ремонта / П. Б. Жернаков, С. М. Цыбин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 6. – С. 316-320.
7. Диагностирование на граф-моделях : На прим. авиац. и автомоб. техники / [Осис Я. Я., Гельфандбейн Я. А., Маркович З. П., Новожилова Н. В.]. - М. : Транспорт, 1991. - 243 с.

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

В.С. Котов, капитан 2 ранга, к.т.н., доцент каф. газовых турбинных установок,

И.И. Пакин, старший матрос, старший оператор роты (научной)

ВМФ ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия

им. адмирала флота Советского Союза Н.Г.Кузнецова»

Аннотация: В данной статье произведено описание реализации математической модели схемы замещения трехфазной линии электропередачи (ЛЭП) в отечественном программном комплексе SimInTech. Рассмотрены математические модели линии и уравнения, взятые за основу данной линии. Подробно описаны блоки, разработанные для использования при расчетах.

Abstract: This work is devoted to the description of the implementation of mathematic model of transmission line equivalent circuit in SimInTech software. Mathematical models of line, taken as a basis are also given here. Blocks developed for the calculations are described.

Ключевые слова: математическая модель, схема замещения, линия электропередачи.

Keywords: mathematic model, equivalent circuit, transmission line.

Модели электротехнических элементов зачастую основаны на эквивалентных схемах замещения, полученных в результате допущений, применяемых при представлении элементов сети. В зависимости от учёта волновых процессов, модели электротехнических элементов можно отнести к двум видам [1]:

- Модели с сосредоточенными параметрами. Пространственные параметры объектов не учитываются;
- Модели с распределенными параметрами. Некоторые геометрические параметры используются в уравнениях, описывающих модель (например, длина линии электропередачи).

Примером данного разделения является моделирование ЛЭП. Для моделирования коротких линий (<50 км) электропередачи часто используется модель П-секции с сосредоточенными параметрами [2, 3]. Структура данной модели представлена на рис. 1 [2,3,4]. Параметры схемы замещения рассчитываются по известным выражениям [2, 3]. В целях обеспечения точности для линий длиной более 50 км требуется производить расчёт с использованием гиперболических функций [1, 2].

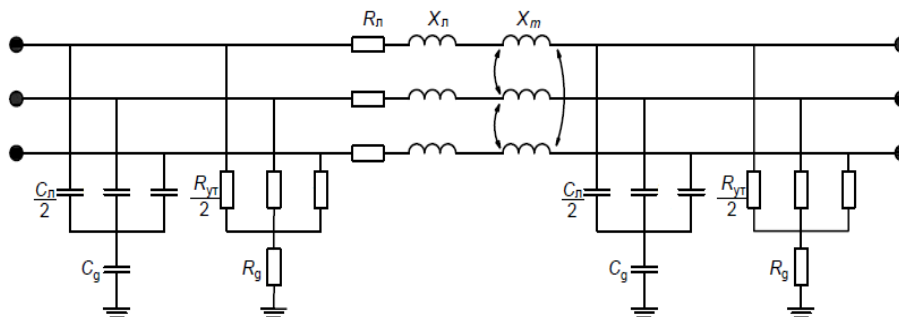


Рис. 1. Схема модели трёхфазной П-секции

Данные выражения в комплексных числах для прямой последовательности имеют следующий вид (1):

$$\begin{aligned} z_1 &= r_1 + j\omega L_1, y_1 = g_1 + j\omega C_1, \omega = 2\pi f; \\ Z_{c1} &= \sqrt{z_1/y_1}; \gamma_1 = \sqrt{z_1 \cdot y_1}; \\ Z_1 &= R_1 + j\omega L_1 = Z_{c1} \cdot \sinh(\gamma_1 \cdot l_{\text{лэн}}); \\ R_1 &= \text{Real}(Z_1); L_1 = \text{Imag}(Z_1)/\omega; \\ Y_1 &= \frac{2}{Z_{c1}} \cdot \tanh\left(\gamma_1 \cdot \frac{l_{\text{лэн}}}{2}\right); \\ G_1 &= \text{Real}(Y_1); C_1 = \frac{\text{Imag}(Y_1)}{\omega}; \\ y_1 &= g_1 + j\omega C_1. \end{aligned} \quad (1)$$

где z_1 – полное продольное сопротивление линии;

r_1 – активное продольное сопротивление линии;

L_1 – продольная индуктивность линии;

y_1 – полная поперечная проводимость линии;
 g_1 – активная продольная проводимость линии;
 C_1 – поперечная емкость линии;
 f – частота питающей сети.

Если при расчете волновыми процессами нельзя пренебречь, то модель с сосредоточенными параметрами не может применяться [5, 6]. Необходимо применять модель ЛЭП с распределенными параметрами. Структура модели однофазной линии с распределенными параметрами представлена на рис. 2. Данная модель косвенно учитывает продольное сопротивление, при этом поперечное сопротивление утечки принимается равным нулю. Для трёхфазной сети отдельно вычисляются параметры схемы прямой обратной и нулевой последовательностей. Модель с распределенными параметрами обеспечивает лучшую точность при расчёте переходного процесса, но при этом требует использования малых шагов интегрирования [7].

Расчёт параметров прямой последовательности производится по формулам (2), для параметров нулевой последовательности расчет аналогичен.

$$\begin{aligned}
 Z_{c1} &= \sqrt{L_1/C_1}; \quad Z_{J1} = Z_{c1} + \frac{R_1}{4}; \\
 j_{11}(t - \tau) &= \frac{Z_{c1}}{R_{J1}^2} \left(u_{11} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{11} \right) + \frac{R_1}{4R_{J1}^2} \left(u_{11} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{11} \right); \\
 j_{11}(t - \tau) &= \frac{Z_{c1}}{R_{J1}^2} \left(u_{11} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{11} \right) + \frac{R_1}{4R_{J1}^2} \left(u_{11} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{11} \right); \\
 j_{21}(t - \tau) &= \frac{Z_{c1}}{R_{J1}^2} \left(u_{21} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{21} \right) + \frac{R_1}{4R_{J1}^2} \left(u_{21} + \left(Z_{c1} - \frac{R_1}{4} \right) i_{21} \right); \\
 \tau_1 &= \frac{l_{\text{лэп}}}{v_{f1}}; \quad v_{f1} = \frac{\omega}{\gamma_1}; \\
 \tau_0 &= \frac{l_{\text{лэп}}}{v_{f0}}; \quad v_{f0} = \frac{\omega}{\gamma_0};
 \end{aligned} \tag{2}$$

где $l_{\text{лэп}}$ – длина линии,
 R_1 – сопротивление прямой последовательности,
 L_1 – индуктивность прямой последовательности,
 C_1 – емкость прямой последовательности.

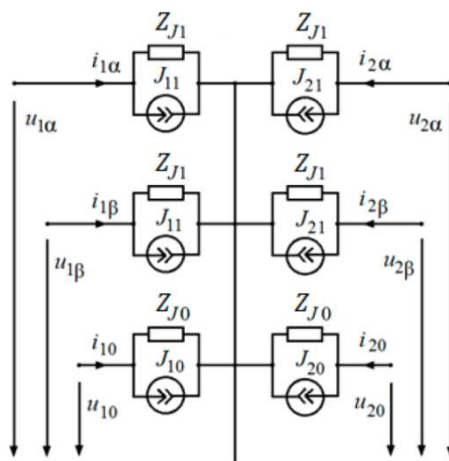


Рис. 2. Модель линии с распределёнными параметрами

В библиотеке «ЭЦ-Статика» ПК-SimInTech имеется модель длинной линии, однако она применима только для расчётов действующих значений параметров режима в комплексных числах, поэтому она не может быть применима при расчёте переходных процессов или схем с полупроводниковыми преобразователями, поскольку в данном случае необходимо получать мгновенные значения.

Кроме того, данная модель не позволяет производить расчёты несимметричных режимов, что делает актуальной разработку реализации вышеописанных моделей.

Условное графическое изображение блока, реализующего модель, по возможности должно соответствовать ЕСКД, регламентирующим графические изображения элементов на схеме и быть интуитивно понятным для пользователя. Графическое изображение блока, реализующего работу трёхфазной ЛЭП представлено на рис. 3. Оба порта блока – порты трёхфазной электрической связи.



Рис. 3. Трёхфазная ЛЭП

Реализация моделей в ПК-SimInTech представлена на рис. 4. Она позволяет моделировать линию как с сосредоточенными параметрами с П-образным (рис. 1) и Т-образным вариантами схемы замещения, так и с распределёнными параметрами (рис. 2).

Параметры элементов (рис. 4, а) рассчитываются по уравнениям (1) в скрипте модели и подставляются в свойства соответствующих блоков, моделирующих основные электротехнические элементы. Параметры сопротивлений (рис. 4, б) рассчитываются в скрипте модели, уравнения реализованы в программном блоке (выделен на рисунке красным). Для программного блока входными параметрами являются токи и напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Параметры прямой и обратной последовательностей подаются на программный блок с одинаковой задержкой τ_1 :

$$\tau_1 = \sqrt{L_1 \cdot C_1}, \quad (3)$$

где L_1 и C_1 – параметры схемы замещения длинной линии прямой последовательности. Задержка для параметров нулевой последовательности рассчитывается аналогично [7]. Выходными портами программного блока являются токи параллельных сопротивлений источников тока.

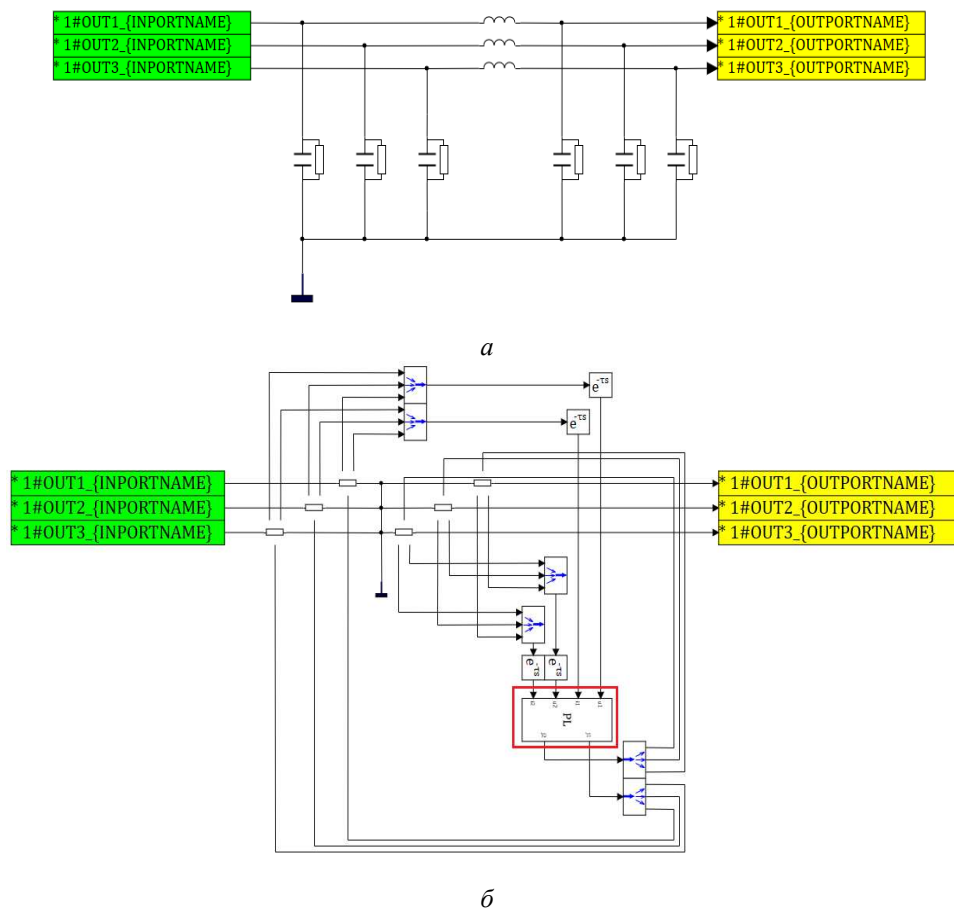


Рис. 4. Реализация моделей длинной линии: а – модель со сосредоточенными параметрами (П-секция), б – модель с распределёнными параметрами

В свойствах блока (см. рис. 5) реализуется выбор между несколькими подмоделями (выбор схемы секции), задаются физические величины, значения которых необходимы для проведения расчёта (удельные сопротивления линии прямой и нулевой последовательностей). Также задаются некоторые дополнительные свойства, обеспечивающие настройку точности расчёта (число секций) или удобство при использовании блока пользователем (отображение числа фаз).

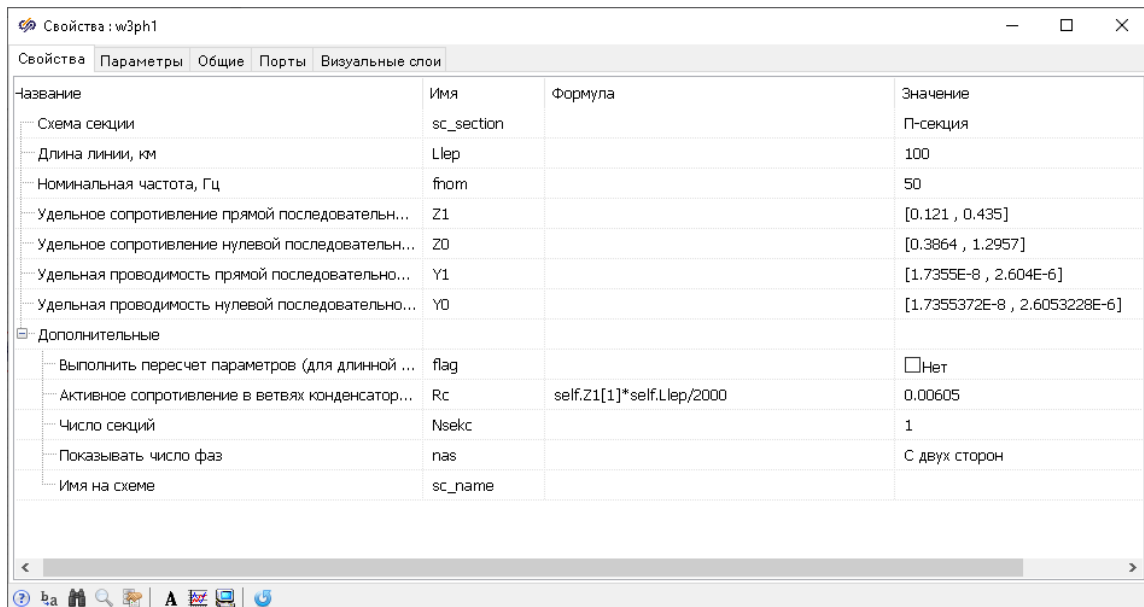


Рис. 5. Свойства блока по умолчанию

Выводы:

1. Разработана и описана реализация математической модели схемы замещения ЛЭП в отечественном программном комплексе SimInTech. Модель реализована в виде блока библиотеки «ЭЦ-Динамика». В данный момент блок включен в библиотеку программного комплекса.
2. Разработанный блок позволяет производить расчёт переходных процессов, схем с полупроводниковыми преобразователями, а так же расчёты несимметричных режимов.

Список используемых источников

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
2. Макаров В.Г., Федотов А.И., Басыров Р.Ш., Вагапов Г.В. Моделирование воздушной линии электропередачи в пакете Matlab/Simulink. Вестник Казанского технологического университета. 2017. №13.
3. Шилин А.Н., Дементьев С.С. Моделирование сопротивления воздушных линий электропередачи. Электротехнические и информационные комплексы и системы 2018. № 3.
4. Ермаков К.И. Имитация трехфазного замыкания на воздушной линии электропередач. Вестник ЧГУ. 2012. № 3.
5. Neville Watson, Jos Arrillaga. Power Systems Electromagnetic Transients Simulations. – 2003.
6. Liwei Wang, Juri Jatskevich, Sina Chini. A VBR Induction Machine Model Implementation for SimPowerSystem Toolbox. – Vancouver, 2007
7. Marek Michalik, Eugeniusz Rosolowski. Simulation and Analysis of Power System Transients. – Wroclaw, 2010

РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ SIMINTECH

В.С. Котов, капитан 2 ранга, к.т.н., доцент каф. газовых турбинных установок ВМПИ,

И.И. Пакин, старший матрос, старший оператор роты (научной) ВМФ

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия

им. адмирала флота Советского Союза Н.Г.Кузнецова»

Аннотация: Работа посвящена описанию реализации математической модели схемы замещения асинхронного двигателя (АД) в отечественном программном комплексе SimInTech. Приведены взятые за основу математические модели линии и уравнения, лежащие в их основе. Описаны разработанные для использования при расчетах блоки.

Abstract: This work is devoted to the description of the implementation of mathematic model of asynchronous motor equivalent circuit in SimInTech software. Mathematical models of line, taken as a basis are also given here. Blocks developed for the calculations are described.

Ключевые слова: математическая модель, схема замещения, асинхронный двигатель.

Keywords: mathematic model, equivalent circuit, asynchronous motor.

Одна из самых распространенных моделей асинхронных двигателей – модель в dq-координатах. Данная модель АД по отношению к электрической сети является источником тока. Её схема изображена на рис 1. Фазные напряжения узла, к которому подключен АД, преобразуются к двухфазной неподвижной системе координат; по выше приведенным уравнениям вычисляются токи статора; фазные токи получаются с помощью обратного преобразования координат. Данная модель используется во многих средствах математического моделирования, например в Matlab-Simulink [1, 2].

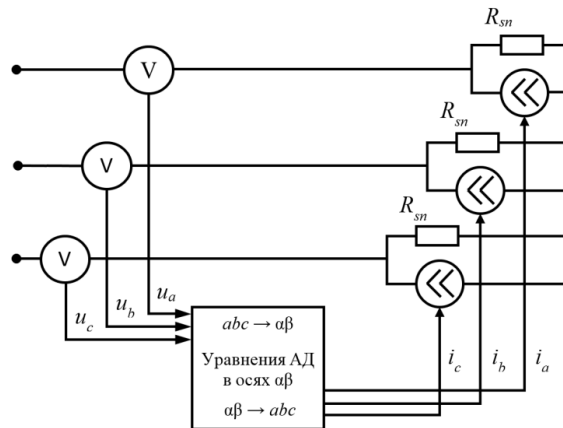


Рис. 1. Модель АД в dq-координатах

Расчёт производится по следующим уравнениям [3]:

$$\begin{aligned}
 u_{qs} &= R_s i_{qs} + \frac{d\Psi_{qs}}{dt} + \omega \Psi_{ds}, \\
 u_{ds} &= R_s i_{ds} + \frac{d\Psi_{ds}}{dt} - \omega \Psi_{qs}, \\
 u_{qr} &= 0 = R_r i_{qr} + \frac{d\Psi_{qr}}{dt} + (\omega - \omega_r Z_p) \Psi_{dr}, \\
 u_{dr} &= 0 = R_r i_{dr} + \frac{d\Psi_{dr}}{dt} - (\omega - \omega_r Z_p) \Psi_{qr}, \\
 T_e &= 1,5 Z_p (\Psi_{ds} i_{qs} - \Psi_{qs} i_{ds}), \\
 \Psi_{qs} &= (L_{\sigma s} + L_m) i_{qs} + L_m i_{qr}, \\
 \Psi_{ds} &= (L_{\sigma s} + L_m) i_{ds} + L_m i_{dr}, \\
 \Psi_{qr} &= (L_{\sigma r} + L_m) i_{qr} + L_m i_{qs}, \\
 \Psi_{dr} &= (L_{\sigma r} + L_m) i_{dr} + L_m i_{ds}, \\
 \frac{d\omega_r}{dt} &= \frac{1}{J} (T_e - T_m - F \omega_r),
 \end{aligned} \tag{1}$$

где R_s, R_r – активные сопротивления статора и ротора;

$L_{\sigma s}, L_{\sigma r}, L_m$ – индуктивности рассеяния статора и ротора;

L_m – индуктивность цепи намагничивания;

$U_{ds}, i_{ds}, \Psi_{ds}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления статора на ось d;

$U_{dr}, i_{dr}, \Psi_{dr}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления ротора на ось d;

$U_{qs}, i_{qs}, \Psi_{qs}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления статора на ось q;

$U_{qr}, i_{qr}, \Psi_{qr}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления ротора на ось q;

ω_r – угловая частота вращения ротора;

Z_p – число пар полюсов; M_e – электромагнитный момент;

M_c – момент сопротивления;

J – момент инерции;

F – коэффициент вязкого трения.

В качестве модели асинхронного двигателя также получила распространение VBR-модель [1]. Данная модель представляет статор машины в виде трехфазной цепи, каждая фаза которой состоит из управляемого источника напряжения и RL-ветви. Модель ротора при этом вынесена из электрической цепи. Схема представлена на рис. 2.

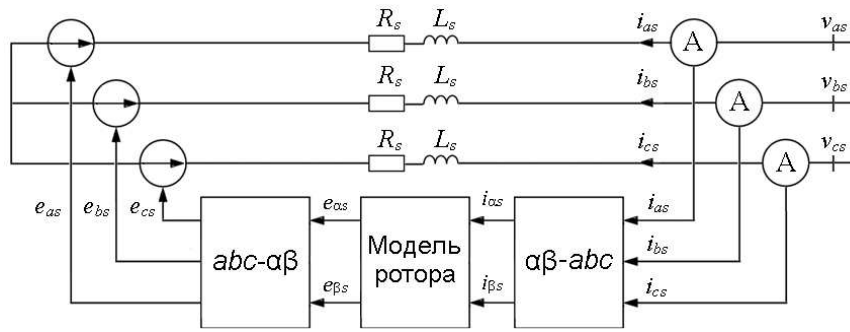


Рис. 2. VBR-модель АД

Данная модель основана на следующих уравнениях [4, 5]:

$$\begin{aligned}
 L_m'' &= \left(\frac{1}{L_m} + \frac{1}{L_{\sigma r}} \right)^{-1}, \\
 \Psi_{\alpha m} &= L_m'' \cdot \left(i_{\alpha s} + \frac{\Psi_{\alpha r}}{L_{\sigma r}} \right), \\
 \Psi_{\beta m} &= L_m'' \cdot \left(i_{\beta s} + \frac{\Psi_{\beta r}}{L_{\sigma r}} \right), \\
 \frac{d\Psi_{\alpha r}}{dt} &= \frac{R_r}{L_{\sigma r}} \cdot (\Psi_{\alpha m} - \Psi_{\alpha r}), \\
 \frac{d\Psi_{\beta r}}{dt} &= \frac{R_r}{L_{\sigma r}} \cdot (\Psi_{\beta m} - \Psi_{\beta r}), \\
 T_e &= 1,5 \cdot Z_p \cdot (I_{\beta s} \Psi_{\alpha m} - I_{\alpha s} \Psi_{\beta m}), \\
 e_{\alpha} &= -Z_p \omega_r \frac{L_m''}{L_{\sigma r}} \Psi_{\alpha r} + \frac{L_m''}{L_{\sigma r}^2} R_r \left(\frac{L_m''}{L_{\sigma r}} - 1 \right) \Psi_{\alpha r}, \\
 e_{\beta} &= Z_p \omega_r \frac{L_m''}{L_{\sigma r}} \Psi_{\beta r} + \frac{L_m''}{L_{\sigma r}^2} R_r \left(\frac{L_m''}{L_{\sigma r}} - 1 \right) \Psi_{\beta r}.
 \end{aligned} \tag{2}$$

где R_r – активные сопротивления ротора;

$L_{\sigma s}, L_{\sigma r}, L_m$ – индуктивности рассеяния статора и ротора;

L_m – индуктивность цепи намагничивания;

$U_{\alpha s}, i_{\alpha s}, \Psi_{\alpha s}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления статора на ось α ;

$U_{\alpha r}, i_{\alpha r}, \Psi_{\alpha r}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления ротора на ось α ;

$U_{\beta s}, i_{\beta s}, \Psi_{\beta s}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления статора на ось β ;

$U_{\beta r}, i_{\beta r}, \Psi_{\beta r}$ – проекции напряжения, тока и потокосцепления ротора на ось β ;

ω_r – угловая частота вращения ротора;

Z_p – число пар полюсов;
 M_e – электромагнитный момент;
 M_c – момент сопротивления;
 J – момент инерции;
 F – коэффициент вязкого трения.

Преимуществом VBR-модели перед моделью в dq-координатах является то, что она обеспечивает устойчивость расчёта при отключении двигателя от источника, в то время как для модели в dq-координатах требуется подключение снаббера (R или RC-ветвь) и/или существенное уменьшение шага интегрирования. Также VBR-модель двигателя лучше согласуется с сетью, чем модель в dq-координатах из-за отсутствия в ней блоков, моделирующих источники тока [4, 5, 6, 7].

В библиотеке «ЭЦ-Динамика» ПК-SimInTech имеется блок, реализующий модель АД в dq-координатах. Однако ввиду преимуществ VBR-модели её реализация является актуальной.

Графическое изображение блока, реализующего VBR-модель АД, представлено на рис. 3.

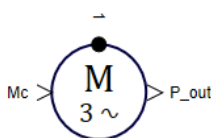


Рис. 3. Асинхронный двигатель:

M_c – порт задания момента сопротивления в о.е., P_{out} – порт вывода скорости вращения (в рад/с) и электромагнитного момента (в о.е.)

Реализация данной модели АД в ПК-SimInTech представлена на рис. 4. Статор моделируется электротехническими элементами: идеальными источниками, RL-элементами. Взаимоиндукция между фазами моделируется при помощи идеальных трансформаторов. При моделировании режимов, связанных с отключением двигателя от сети и использовании для расчёта неявного метода трапеций могут возникать незатухающие колебания напряжения. Эти колебания являются недостатком данного метода расчёта и не имеют физического смысла. Для минимизации их влияния в статор двигателя по схеме соединения треугольником включены сопротивления, обеспечивающие затухание колебаний.

Модель ротора реализуется уравнениями, описанными в программном блоке. В зависимости от выбранных свойств модели АД (см. рис. 4) «Число контуров на роторе» и «Метод интегрирования» подбираются по заданным условиям необходимые уравнения. Так же в данном программном блоке вычисляется электромагнитный момент двигателя.

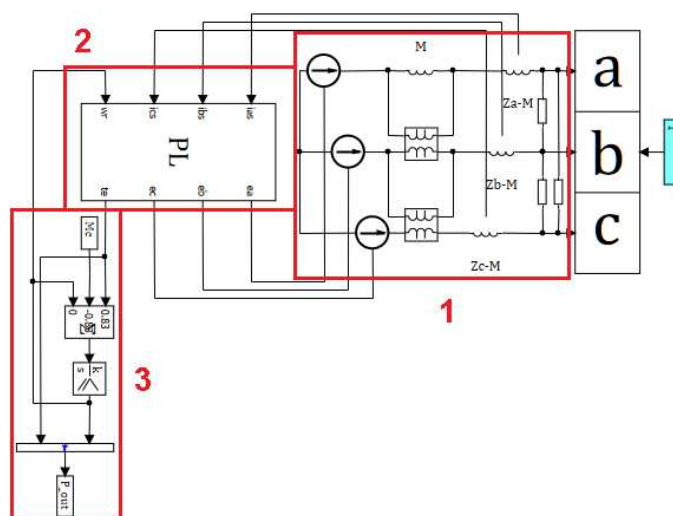


Рис. 4. Реализация VBR-модели АД в ПК-SimInTech: 1 – модель статора двигателя, 2 – модель ротора, 3 – вычисление электромагнитного момента и скорости вращения двигателя

В свойствах блока (см. рис. 5) задаются некоторые каталожные данные моделируемого двигателя, а так же параметры Т-образной схемы замещения.

Название	Имя	Формула	Значение
Номинальные			
Номинальная мощность, кВт	Pnom		550
Номинальное напряжение, В	Unom		960
Номинальная частота питающей сети, Гц	fnom		50
Номинальная частота вращения, об/мин	Nnom		1485
Число пар полюсов	p		2
Момент инерции, кг*м2	J		88.6
Схема замещения			
Число контуров на роторе	Nobmrot		1
Сопротивления статора [Xls, Rsl], Ом	Zst		[0.10304424 , 0.018466]
Сопротивление намагничивания [Xm], Ом	Zm		[6.2988933]
Сопротивление ротора [Xlr, Rr], Ом	Zrs0		[0.10304424 , 0.00991474]
Дополнительные			
Имя на схеме	sc_name		
Блокировать отрицательную скорость вращения...	Wlock		<input checked="" type="checkbox"/> Да
Коэффициент вязкого трения, Нмс	F	0	0
Метод интегрирования	Mint		Общий со схемой

Рис. 5. Свойства блока по умолчанию

Выводы

Разработана и описана реализация математической VBR-модели асинхронного двигателя в отечественном программном комплексе SimInTech. Модель реализована в виде блока библиотеки «ЭЦ-Динамика».

Разработанный блок позволяет производить расчёт переходных процессов, схем с полупроводниковыми преобразователями, а так же расчёты несимметричных режимов.

Список использованных источников

1. Francis Therrien. Numerically efficient modelling of saturable AC machines for power systems electromagnetic transients simulation programs. – Université de Sherbrooke, 2010.
2. Баклин В.С., Гимпельс А.С. Математическая модель частотно-регулируемого асинхронного двигателя. Известия ТПУ. 2005. № 7.
3. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей/Под ред. Л.Г. Мамиконянца. – 4-е изд., переработ. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 240 с., ил.
4. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.: ил.
5. Neville Watson, Jos Arrillaga. Power Systems Electromagnetic Transients Simulations. – 2003.
6. Liwei Wang, Juri Jatskevich, Sina Chini. A VBR Induction Machine Model Implementation for SimPowerSystem Toolbox. – Vancouver, 2007
7. Кузьмин А.А. Исследование процессов в сетях с частотно-регулируемым электроприводом и разработка рекомендаций по повышению надежности электроснабжения: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Новосибирск, 2016.

**РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПЕЧАТИ ИЗОБРАЖЕНИЙ НАНЕСЕНИЕМ
ИНЕЯ ИЛИ ЖИДКОГО КОНДЕНСАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФАЗОВЫХ
ПЕРЕХОДОВ ВЛАГИ, СОДЕРЖАЩЕЙСЯ В ВОЗДУХЕ**

В.Ю. Бегляков^{1,2,a}, к.т.н., Д.Н. Нестерук^{1, б}, А.А. Казанцев²

¹ *Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26*

² *Филиал федерального государственного автономного образовательного
учреждения высшего образования «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС» в г. Губкине Белгородской области.
309186, Белгородская обл., г. Губкин, ул. Комсомольская, 16
a beglyakov@tpu.ru, б nesteruk@tpu.ru*

Аннотация: В статье описана технология создания изображений на основе фазового перехода влаги, содержащейся в атмосферном воздухе. Представлена концепция устройства «Зимний фонтан», реализующего данную технологию. Сформулированы направления дальнейших исследований.

Abstract: The article describes the technology of creating images based on the phase transition of moisture contained in the atmospheric air. The concept of the "Frost Fountain" device, which implements this technology, is presented. Directions for further research are formulated.

Ключевые слова: зимний фонтан, изображение на основе фазового перехода, технология нанесения, устройство, параметры.

Keyword: frost fountain, picture based on phase transition, technology application, device, parameters.

Нас окружают природные явления, которые привлекают своей красотой. Многие из этих явлений люди научились повторять, преследуя декоративные или практические цели. Созерцание каких-то природных процессов успокаивает и умиротворяет, и люди имитируя эти явления, создают фонтаны, строят искусственные водопады, сажают клумбы и т.п. Созерцание некоторых явлений наоборот пугает и возбуждает, но все же привлекает, и люди имитируя их, создают пиротехнические шоу, строят экстрим-аттракционы и др.

Всем хорошо известно явление, которое называют «морозные узоры», они появляются на оконных стеклах зимой, создают ощущение зимней сказки. Правда, с развитием строительных технологий эти узоры появляются все реже, с практической точки зрения узор на стекле – признак изъязна в конструкции окна. Но жалко расставаться с зимней сказкой.

В парках, скверах и на площадях зимой появляются рукотворные ледяные фигуры, сказочные персонажи из снега и льда. Это статичные фигуры, которые где-то продержатся до весны, а где-то под воздействием природы или человека разрушатся быстрее. Но если каждый год их делают снова, значит людям это нужно.

В рамках регионального Конкурса кейсов для проектных команд «Компонент 2020-2021» [1] создана команда ЮТИ ТПУ «Полигон», команда получила от организаторов конкурса кейс-задание: «Создание нового вида декоративных устройств «Зимний фонтан» для украшения площадей, парков и др. мест массового скопления людей в холодное время года».

Авторы статьи задались целью создать устройство, которое смогло бы создавать морозные узоры на стекле. Рабочее название устройства «Зимний фонтан» взяли из текста кейса-задания.

Концепция устройства «Зимний фонтан»

Устройство «Зимний фонтан» (далее «устройство») может выполнять следующие функции:

1. Генерация узоров на мониторе по заранее заложенным программам и изображениям (рис. 1).
2. Интерактивная генерация узоров с использованием автофигур.
3. Произвольное рисование.



Рис. 1. Генерация изображения на мониторе по фотографии

Назначение и области применения

Устройство может быть использовано для:

- эстетического оформления городских территорий, скверов, площадей, мест массового пребывания и отдыха людей;
- эстетического оформления территорий крупных учреждений и предприятий;
- оформления массовых мероприятий и привлечения людей для участия в мероприятиях;
- сдачи в аренду для проведения рекламных акций и презентаций, связанных с открытием торговых-развлекательных учреждений, юбилеями организаций, проведения торжеств и т.п.;
- формирования и развития новых видов, форм и техник в изобразительном искусстве;
- создание объектов, имеющих художественную ценность;
- развития интереса у людей, особенно у молодежи, к науке, технике и технологиям через красоту и искусство.

Состав устройства

Предварительный состав устройства показан на рисунке 2. В состав устройства входят: монитор, система подготовки и подачи воздуха, подсветка и система управления.

Изображения вводятся в память компьютера. Возможен ввод готовых изображений с внешних источников (Интернет, USB-флеш-накопитель, внешний HDD и т.п.), или с внешних устройств ввода (стационарная сенсорная панель, входящая в состав устройства; сенсорная панель, совмещенная с монитором; индивидуальные устройства пользователей – смартфон, планшет; другие устройства). После обработки изображения Компьютер выдает управляющие команды на контроллер. Контроллер формирует управляющие команды на систему подготовки воздуха матрицы монитора.



Рис. 2. Состав устройства «Зимний фонтан»

Монитор представляет собой стеклянную панель (рис. 3) с системой подачи воздуха. На мониторе осуществляется отображение узоров. Так же возможны исполнения, где монитор совмещен с сенсорной панелью и может выполнять функцию устройства ввода информации.

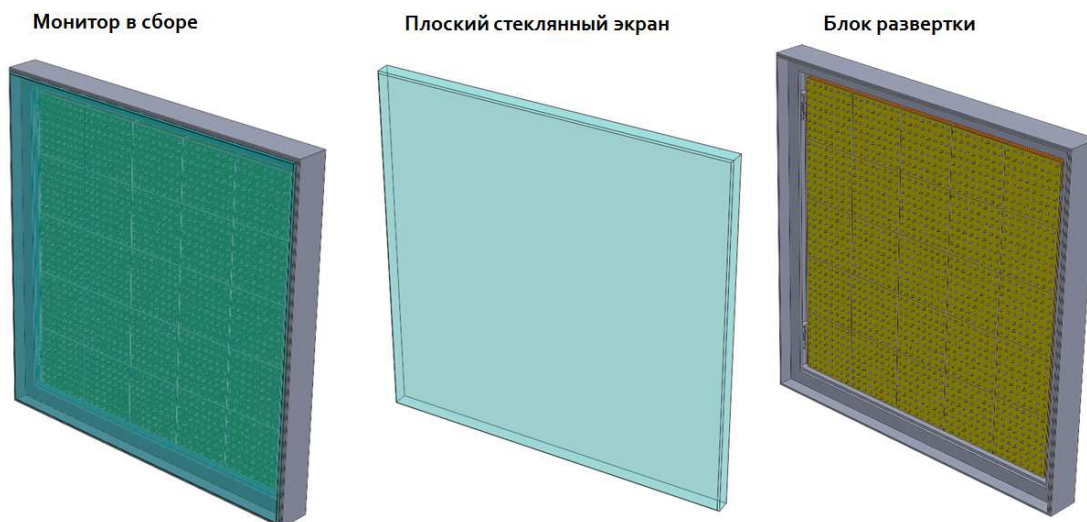


Рис. 3. Плоский монитор

В монитор входит матрица с системой развертки (рис. 4). С помощью приводов горизонтальной и вертикальной разверток осуществляется сканирующее движение форсунок в пределах межэселевого расстояния, что позволяет увеличить разрешающую способность монитора. Привод управления размером точки приближает или удаляет экран от форсунок, что позволяет уменьшать или увеличивать размер точки или толщину линии.



Рис. 4. Блок развертки плоского монитора

Система подготовки воздуха состоит из вентилятора или компрессора, увлажнителя и калорифера. Задачи системы: подготовка теплого сухого или теплого влажного воздуха (в зависимости от режима работы устройства) и нагнетание его в систему подачи, т.е. подвод к матрицам и форсункам.

Здесь под теплым влажным воздухом понимается воздух, точка росы которого значительно выше температуры стекла и окружающего воздуха, а относительная влажность близка к 100%.

Под теплым сухим воздухом понимается воздух, температура которого выше температуры окружающей среды, а абсолютная влажность близка к влажности окружающего воздуха.

Возможные способы формирования изображений:

4. Нанесение

Подача струй теплого влажного воздуха на охлажденное стекло. При этом влага из воздуха будет конденсироваться в виде капель или инея на поверхности стекла.

5. Удаление

Подача струй теплого сухого воздуха на запотевшее или обледеневшее стекло. При этом лед будет таять, а влага с поверхности стекла будет испаряться и уноситься струей теплого воздуха.

6. Проявление нанесением

Равномерный обдув теплым влажным воздухом стекла.

При этом температура поверхности стекла неодинаковая. Температура некоторых участков стекла ниже точки росы, а некоторых – выше.

При таких условиях холодные участки поверхности стекла будут запотевать или покрываться инеем, а теплые – оставаться сухими.

7. Проявление удалением

Неравномерный нагрев предварительно запотевшего или покрытого инеем стекла.

8. Комбинированный

Одновременное или последовательное применение приемов «нанесение» и «удаление».

В способах №№ 1 и 3 формирование рисунка основано на нанесении инея или росы на стекло.

В способах №№ 2 и 4 формирование рисунка основано на удалении инея или росы со стекла.

Так же целесообразно реализовать возможность организации связи по Bluetooth или WiFi с внешними устройствами. При этом логично ожидать, что при проведении массовых мероприятий количество желающих может превысить количество устройств.

Возможна организация викторин, в которых «право на связь с устройством» будет товаром, призом или бонусом.

На данный момент проведена конструктивная проработка устройства «Зимний фонтан», принцип действия устройства авторам представляется вполне понятным. Но для реализации проекта необходимо провести предварительные экспериментальные исследования термодинамических процессов, происходящих при нанесении и удалении росы и инея.

Прежде всего, необходимо обосновать способ формирования (подготовки) воздуха для создания воздушных струй, обосновано уточнить параметров «теплого влажного» и «теплого сухого» воздуха.

Далее необходимо определить характер влияния следующих параметров на процессы фазовых переходов [2]:

- температура воздушной струи;
- скорость воздушной струи;
- влажность воздуха в струе;
- температура обдуваемой поверхности;
- температура окружающего воздуха;
- влажность окружающего воздуха.

Так же необходимо определить характер влияния следующих параметров и операций на процессы формирования (качественные характеристики) изображения:

- скорость перемещения сопла относительно обрабатываемой поверхности;
- расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности;
- повторное прохождение сопла над предварительно обработанной поверхностью;
- чередование обработок «теплым влажным» и «теплым сухим» воздухом;
- параллельное и перекрестное нанесение линий;
- расстояние между линиями (плотность нанесения).

Качественные характеристики изображения:

- толщина линии (размер точки);
- разрешающая способность;
- плотность (прозрачность) покрытия;
- контрастность изображения;
- толщина покрытия;
- матовый, глянцевый, стекловидный и др. характер покрытия;
- визуальные эффекты в отраженном и проходящем свете.

Реализация программы исследований термодинамических процессов позволит обосновать конструктивные и энергетические параметры устройства, обеспечить приемлемое быстродействие.

Кроме обоснования конструктивных и энергетических параметров возникают новые непростые и очень интересные задачи, связанные с системой управления устройством [3]:

- обработка изображений и формирование управляющих команд;
- создание систем обратной связи, обеспечивающих динамическую оценку результата и формирование команд по коррекции режимов подачи воздуха;
- разработка интерфейса, учитывающего разность скоростей ввода и вывода изображений и др.

Также возникают задачи формирования приемов новой техники формирования изображений [4]. То есть, у художника появится новый инструмент, а значит и новый жанр или жанры.

В общем, создание устройства «Зимний фонтан» обеспечивает «смычку» науки и сказки, стоит на стыке таких областей: механика, термодинамика, информатика и изобразительное искусство, и во всех этих областях диктует новые научные, инженерные и творческие задачи.

Список используемых источников:

1. Межрегиональный конкурс проектных команд «Компонент 2020-2021»: [сайт] URL: <https://component2020.in-ko.ru/>
2. Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Теоретическая физика. Т. 5. Статистическая физика. Ч. I. – 2005.
3. Ливенцов С. Н., Ливенцова Н. В. Цифровые системы управления //Томск: Изд-во Томского политех. ун-та. – 2009.
4. Качалова А. А. Методы и приемы, используемые в создании образа декоративной живописи, Шадринск //Вестник Шадринского государственного педагогического института. – 2013. – №. 2. – С. 141-144.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА ПРИ УПРАВЛЕНИИ ИНФОРМАТИЗАЦИЕЙ ИЗМЕРЕНИЙ

К.В. Епифанцев, к.т.н, доцент,

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67*

E-mail: epifancew@gmail.com

Аннотация: В статье рассматриваются достоинства применения риск-ориентированного подхода для работы со средствами измерений в контексте подготовки специалистов по метрологии и управления информатизацией измерений. Информатизация измерений строится на анализе рисков в процессе производства и разработке специализированных средств оперативного контроля, таких как SCADA системы. Система анализа рисков и потенциальных отказов имеет важное значение для прогрессивного развития производства, реализации задач в рамках Индустрии 4.0.

Ключевые слова: Риск-ориентированный подход, интеллектуальные датчики, риски при проектировании.

Abstract: The article discusses the advantages of using a risk-based approach to work with measuring instruments in the context of training specialists in metrology and management of measurement informatization. Measurement informatization is based on the analysis of risks in the production process and the development of specialized operational control tools, such as SCADA systems. The system of risk analysis and potential failures is important for the progressive development of production, the implementation of tasks within the framework of Industry 4.0.

Keywords: Risk-based approach, intelligent sensors, design risks.

Важным компонентом, снижающим риски в процессе проведения измерений, являются инструменты статистического анализа, инструменты качества, автоматизированные программы для работы с причинно-следственными диаграммами (к примеру MiniTab, MIRO). На рисунке 1 представлен пример использования автоматизированной среды MIRO для разработки диаграммы Исикавы (Рис. 1). Стрелками слева на право показана последовательность создания диаграммы.

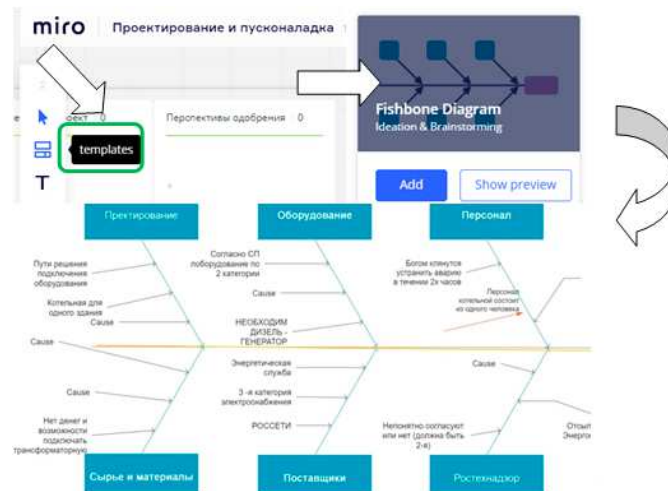


Рис. 1. Добавление диаграммы из области «templates» в MIRO

В основе проекта лежал процесс подключения ТЭЦ к сети от гарантирующего поставщика электроэнергии. Данный поставщик, являясь монополистом в регионе, имеет очень нестабильное качество передачи электроэнергии. Для реализации риск-ориентированного подхода на диаграмме необходимо было определить корневую причину данного отказа

Внедрение риск-ориентированного подхода в работу метрологических служб, так как от взаимодействия и работы данных подразделений, зависит достоверность получения информации об измерениях на опасных производственных объектах. В процессе эксплуатации контрольно-измерительных приборов методом риск-ориентированного подхода, у специалистов развивается экспертная оценка происходящей ситуации, возникает потребность актуализации и модернизации стандартов на основании непрерывно увеличивающихся системах защиты от ошибок в техпроцессе [1].

По Концепции развития системы стандартизации в приборостроительном комплексе на период до 2020 года, стратегическими целями развития системы стандартизации в приборостроительном комплексе являются:

- борьба с потенциальными рисками
- превентивная система калибровок и ремонта инструментов
- формирование и совершенствование системы стандартизации в, отвечающей нормам ВТО и Таможенного союза;
- максимальный учет мнений компаний и предприятий смежных отраслей промышленности при разработке документов по стандартизации на национальном уровне;
- обеспечения преемственности работ по метрологии;
- экономической и технической обоснованности устанавливаемых стандартами требований к продукции (работам, услугам);
- обеспечения системности и комплексности стандартизации;
- обеспечение передовых систем бережливого производства на всех нефтепромысловых компаниях

В связи с реализацией данной Концепции, специалистам необходимо получить практический навык основных законов и методик, применяемых в стандартизации, метрологии и квалитметрии. Полученные сведения необходимы для изучения вопросов метрологического обеспечения производства, стандартизации, исследования качества на предприятии.

ГОСТ Р 53392-2017 «Анализ логистической поддержки» является одним из ГОСТов, развивающих риск-ориентированный подход для разработчиков изделий. В стандарте подчеркивается: Анализ логистической поддержки - является системообразующим процессом интегрированной логистической поддержки и предусматривает анализ конструктивно-схемных решений и функций изделия, возможных видов и последствий (в том числе критичности) отказов изделия и его СЧ. Для сложных изделий (самолет, вертолет, корабль и т.п.) анализ проводят по их составным частям, выбирая в качестве объектов анализа основные функциональные системы изделия, их подсистемы и элементы. Позволяют прогнозировать возможность выявления несоответствий на раннем этапе, позволяя разработать системы защит от ошибок для противодействия небезопасным ситуациям.

К стандартам, в которых рассматривается риск-ориентированный подход, можно отнести:

- ГОСТ Р 51901.12-2007 Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов
- ГОСТ Р МЭК 62502-2014 Менеджмент риска.
- ГОСТ Р 51901.23-2012 Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска [4-7]
- ГОСТ Р 53392-2017 Анализ логистической поддержки

В связи с вышеуказанными стандартами возникла необходимость совершенствования программы подготовки специалистов метрологического профиля. С 2019 года в процессе подготовки специалистов направления подготовки магистратуры 27.04.01 «Стандартизация и метрология» в Санкт-Петербургском университете аэрокосмического приборостроения начата разработка нового курса «Научные технологии, обеспечивающие снижение рисков на опасных производственных объектах». Данный курс является важным для специалистов данного профиля, так как предоставляет возможность углубленно погрузиться в основы риск-менеджмента, предотвращения отказов, проектируемого на деятельность метрологического профиля с учетом требований безопасности при работе на опасных производственных объектах. Развитие компетенций в данной области является возможным, благодаря изучению комплексных процессов качества, риск-менеджмента, метрологического обеспечения и бережливого производства, а также подхода Total productive maintenance [1]. Такое соотношение применяемых технологий обучения позволяет акцентировать внимание на специализированных подходах и инструментах предотвращения отказов. В качестве практических работ даны задания по разработке матрицы рисков или FMEA (Failure mode and effects analysis) для конкретных операций по измерениям в условиях металлургического, сварочного, обогащательного производства, при работах на высоте и сосудов под давлением, подземных горных работах.

В таблице 1 приведен пример применения системы Failure mode and effects analysis по поверке микрометра. Причина эффективности метода в том, что изучается каждый вид отказа каждого отдельного компонента. Необходимо также предугадывать отказы по качеству, создавая системы защиты от ошибок (Poka-Yoka) – электронно-механические средства позволяющие предотвратить отказ или при ослаблении внимания оператора. Обнаружение, возникновение, значимость (О,В,З) – данные метрической системы таблицы, а ПЧР – приоритетное число рисков – их произведение. При этом значимость варьируется в МРОТ, обнаружение к часам на обнаружение отказа, а возникновение в статистических данных по возникновению отказа в процессе работы

Таблица 1

Пример «FMEA по поверке микрометра МК-50»

№ №	Название операции	Отказ	Последствия	Причины	Контроль (Poka-Yoka)	О	В	З	ПЧР
1 1	Осмотр микрометра	Падение инструмента из рук	Потеря времени на восстановление и ремонт Порча инструмента	Отсутствие элементов дополнительной защиты от падения	Возможность фиксации микрометра гибким эластичным элементом на запястье оператора	1	1	7	7
2 2	Занесение данных, измеренных на микрометре, в протокол	Некорректный код микрометра	Потеря времени Несвоевременная калибровка Возможность потери инструмента	Недостаточное количество опознавательных знаков	Нанесение дополнительного QR-кода на микрометр Дополнительная шильда	4 2	1 2	1 7	40 28

Кроме анализа FMEA В процессе работы в данном курсе используются такие практические работы, как:

- Расчёт t-критерия Стьюдента для независимых выборок при контроле партии готовой продукции
- Работа на электронной доске MIRO по составлению диаграммы Исикавы [2]
- Изучение практик анализа рисков в РФ
- Составление FMEA технологической операции приборостроительной отрасли
- Расчет ООЕ производственного участка
- Применение SMED в процессе поверки вольтметров [3]

В процессе разработки программы курса были выделены ключевые аспекты влияния рисков на производственные процессы, в частности – процессы измерительные. В курсе также производится анализ влияния цифровизации на изменение процедуры метрологического контроля процессов, обосновывается важность применения риск-ориентированного подхода для углубленного изучения наукоемких технологий.

Список используемых источников:

1. Кэтмелл, Эд Корпорация гениев. Как управлять командой творческих людей / Эд Кэтмелл, Эми Уоллес. - М.: Альпина Паблишер, 2015. - 344 с.
2. Рассел, Джесси Диаграмма Исикавы / Джесси Рассел. - М.: VSD, 2013. - 295 с.
3. Синго С. Быстрая переналадка: Революционная технология оптимизации производства. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 344 с.
4. ГОСТ Р 51901.12-2007 Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов
5. ГОСТ Р МЭК 62502-2014 Менеджмент риска.
6. ГОСТ Р 51901.23-2012 Менеджмент риска. Реестр риска. Руководство по оценке риска опасных событий для включения в реестр риска
7. ГОСТ Р 53392-2017 Анализ логистической поддержки

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ И ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ФАНДОМАТОВ

К.В. Епифанцев^{1,а}, к.т.н, доцент, С. Иващенко^{2,б},

¹Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
190000, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская 67,

²ГБОУ Лицей № 393, Кировского района, Россия, г. Санкт-Петербург

E-mail: ^аepifancew@gmail.com, ^бivashchenko_serezha@mail.ru

Аннотация: В настоящее время очень актуальным является предоставление услуг населению с помощью роботизированных автоматов-терминалов. Однако в организовать производство данных машин удалось ограниченному количеству предприятий. Во многом причина этому – ряд ограничений со стороны налогового законодательства, с другой стороны – достаточно сложные системы распознавания образов, которым необходимо проводить анализ конфигурации помещаемых в терминал отходов на предмет их пригодности к переработке.

Ключевые слова: Распознавание отходов, системы машинного зрения, мобильный городской терминал по сбору отходов, корректировка систем робототехнической сортировки отходов

Abstract: Currently, it is very important to provide services to the population with the help of robotic automatic terminals. However, a limited number of enterprises managed to organize the production of these machines. In many ways, the reason for this is a number of restrictions on the part of tax legislation, on the other hand-quite complex image recognition systems that need to analyze the configuration of waste placed in the terminal for their suitability for recycling.

Keywords: Waste recognition, machine vision systems, mobile urban waste collection terminal, adjustment of robotic waste sorting systems

В аннотации были рассмотрены ограничения налогового законодательства по организации залоговой тары, которая во многом, по мнению граждан будет способствовать только лишь увеличению стоимости на пластиковую и стеклянную тару, а в реалии не будет решать экологических проблем. Рассмотрим исследование [1] в котором говорится следующее: уровень собираемости при залоговой таре возрастает в несколько раз и может достигать до 95% тары.

Акцент в данном исследовании сделан не только на приемке пластика, как это принято в традиционно существующих автоматах-терминалах, но и на стеклянной таре. Кроме основного пункта приема на терминале расположена энциклопедия отходов - данный продукт также запатентован и имеет несколько версий [1,2] и пользователи могут бесплатно скачать данную энциклопедию на телефон для повышения интеллектуальной грамотности. Предполагается, что за принесенные отходы пользователи могут получать чеки на продукты и товары магазина, в котором установлен терминал. Установка таких банкоматов позволит автоматизировать и популяризировать процесс сбора отходов, а возможность платной рекламы на них позволит сделать данный проект окупаемым. Проект будет реализован и представлен как один из инструментов поддержки нацпроекта «Экология» [3].

Рассмотрим какие машины в настоящее время предлагают разработчики – Таблица 1

Таблица 1

Примеры фандоматов, изготавливаемых в РФ		
Название компании	Внешний вид	Характеристики
https://r-stanok.ru/fandomat/		Прием пластиковых и стеклянных бутылок, достаточно большой объем резервуара для хранения отходов
https://www.vsekioski.ru/catalog/fandomat/		Сенсорный экран Принтер купонов Система распознавания тары Защита от вандалов
https://greenat.ru/at-s1		Считыватель магнитных карт Прессующее приемное устройство Модем Сканнер штрихкодов Объем накопителя: 5-15 м3 Производительность: до 20 ед/мин Мощность: 10 кВт Принимаемая тара: 0,33 - 5 л. Материал корпуса: сэндвич панели
https://taras.group/		Прием тары из алюминия и пластика Отсутствие рекламного монитора Отсутствие сминателя



Рис. 1. Пример терминала для приема отходов (фандомата) во Франции



Рис. 2. Пример работы программы при идентификации размеров бутылки и определению объекта

В настоящее время в Евросоюзе банкоматы стоят в 90% магазинов таких гигантских сетей как Ашан, Кауфланд и Алди. Пример подобного терминала-утилизатора представлен на Рисунке 1. Разработка продуктовой линейки терминалов предварительной автоматической сортировки твердых бытовых отходов для торговых сетей, торгово-развлекательных центров и объектов транспортной инфраструктуры с возможностью стимулирования продаж новых товаров и услуг является основной темой исследования. Конечный продукт представляет собой систему автоматического распознавания образов, форм, геометрических параметров и материала для дальнейшей сортировки материалов по конкретному признаку, или выделения брака из нескольких идеальных продуктов, проходящих по конвейеру. Далее предполагается разработка и совершенствование терминала-машины на основе определения систематической и инструментальной погрешности, моделирование приборной части машины в программном модуле LabView, разработка интерфейса, разработка оптико-инструментальной и кинематической системы на последующем этапе планируется апробирование установки на предприятиях, проведение калибровки установки, сравнение с аналогами, получение выходных результатов метрологического освидетельствования.

Для решения данной проблемы планируется применить программный продукт, написанный на языке Python. Данный программный продукт также может быть задействован непосредственно на мусороперерабатывающем комбинате, и в частности - в процессе обучения школьников и студентов вопросам переработки отходов, вопросам совершенствования действующей технологии переработки, создания терминалов по приему отходов и автоматической сортировке. Разработанная программа – нейросеть (Рисунок 2) - представляет из себя приложение для измерения размеров объекта из прямого видеопотока на определенной дистанции. Нейронная сеть имеет возможность дополнительного самообучения.

Чтобы программа корректно работала, необходимо перед началом работы произвести настройки:

- фокусного расстояния используемой камеры;
- высоты (вертикального размера) матрицы используемой камеры
- дистанцию до объектов, которых нужно измерить;
- минимальный порог обнаружения. Если уверенности обнаружения объекта недостаточно высока, то этот объект выводиться не будет.

При обнаружении на видео объектов программа рисует вокруг них рамку, а также название класса этого объекта, по мнению нейросети, размеры в миллиметрах.

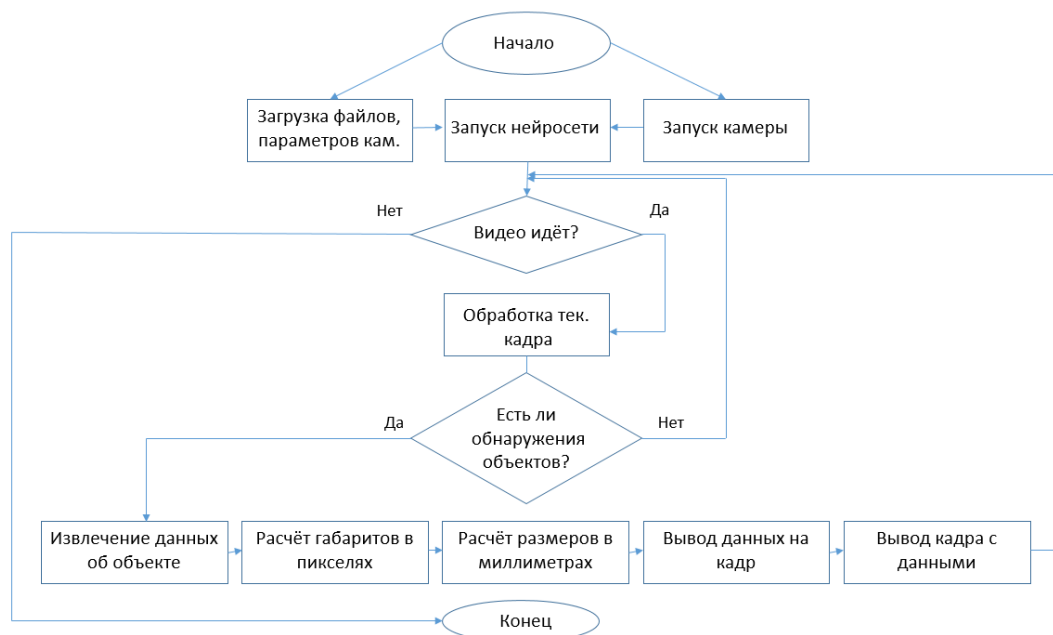


Рис. 3. Общий алгоритм работы программы





После открытия окна программы, запускается основная функция программы. В нейронную сеть загружается предобученная модель (из каталога с программой), начинает работу камера. Далее из видео

извлекается каждый кадр и обрабатывается. Кадр преобразовывается в blob-объект, который пропускается через нейросеть. Если на изображении обнаружены объекты, и они проходят заданный минимальный порог, то извлекаются их координаты, название. Так мы находим размеры предметов в пикселях.

Затем, используя физические формулы из оптики, известные данные и параметры камеры, мы можем найти настоящие размеры вещи. Остается пометить её рамкой, подписать класс, процент узнаваемости, габариты (ширину на высоту в миллиметрах). Алгоритм работы программы представлен на рисунке 1

В таблице 2 представлены основные результаты испытаний

Таблица 2

Результаты испытания программы				
Тестируемая модель	Вид тестируемого отхода			
	Бутылка1	Бутылка 2	Банка 1	Банка 2
Фото из программы				
Реальный размер, мм	ширина - 94мм, высота – 340мм	ширина - 94мм, высота – 340мм	ширина 87мм, высота 145мм	ширина - 64мм, высота – 96мм
Размер в программе, мм	ширина - 97мм, высота – 337мм	ширина - 96мм, высота – 344мм	ширина - 96мм, высота – 144мм	ширина - 63мм, высота – 97мм
σ определения размера (Ш и Д), %	3,2%; 0,9%	2,1%; 0,9%	2,4%; 0,7%	1,6%; 1%
Примечания	Погрешность обусловлена плохим качеством съемки. Так, размеры нарушились из-за наклона камеры, вспышка была принята сетью как часть бутылки.	Фон снизил точность, но сеть неправильно определила высоту бутылки.	Погрешность в ширине из-за освещения, тень принимается как объект. Погрешность в высоте из-за разрешения камеры.	Погрешность в ширине из-за сложной формы, габариты измерялись по диагонали. Погрешность в высоте из-за размытия верха на фоне.

В данной программе были найдены недостатки. Они приводят к потере точности и погрешностям. Можно выделить 3 основные проблемы:

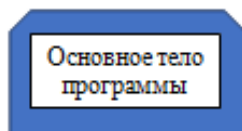
- Насыщенность обученной модели. Модель, используемая в программе, общедоступная. Она слабо обучена. Это приводит к тому, что количество видов определяемых объектов сильно ограничено, сеть не распознаёт многие предметы. Эта проблема решается обучением модели большим количеством разных объектов из разных классов.
- Качество обученной модели. Вытекает из первой проблемы. Качество базы данных, на основе которой происходило обучение, крайне низкое. Это значит, что многие объекты не так определяются на кадре, как они расположены фактически. Например, вещи могут быть обрезаны или дополнены пустотой. Это приводит к потере размеров и, следовательно, к неточностям в оп-

ределении размеров. Эта проблема решается обучением модели большим количеством одинаковых объектов из одного класса.

- Условия съемки, качество камеры. При плохом освещении или маленьком разрешении камеры сеть просто не сможет опознать объекты. Она может принять их неправильно, например, добавить к нему предметы на заднем плане.

Рассмотрим частично программный код программы, написанный на Python:

```
import numpy
import sys
import imutils
import cv2
from time import sleep
from imutils.video import VideoStream
from os import getcwd
from datetime import datetime
from PyQt5 import uic
from PyQt5.QtWidgets import QApplication, QMainWindow
```



```
"""Класс, осуществляющий вывод окна с системной информацией"""
def __init__(self):
    """Загрузка данных"""
    super().__init__()
    uic.loadUi('style.ui', self)
    self.label_8.setText(str(proto)) # название prototxt файла (в папке)
    self.label_9.setText(str(model)) # название модели (в папке)
    self.label_10.setText(str(conf * 100) + "%") # порог срабатывания
    self.label_11.setText(str(height_of_matrix) + " mm") # высота матрицы
    self.label_12.setText(str(focus) + " mm") # фокус камеры
    self.label_13.setText(str(distance) + " mm") # дистанция до объекта
    self.pushButton.clicked.connect(main) # кнопка начала работы осн. функции (main())
if __name__ == '__main__':
    app = QApplication(sys.argv)
    ex = MyWidget()
    ex.show()
    sys.exit(app.exec_())
```



Рис. 4. Макет фандомата для сбора стеклянных банок и пластиковых бутылок, напечатанный на 3D принтере

Макет терминала представлен на Рисунке 4. Однако на данном этапе его разработки возникает ряд задач, которые крайне необходимо решить, в частности проработать систему антивандальной защиты терминала, необходимо провести испытания приемо-подающего механизма.

В заключении работы, необходимо сказать - целевые рынки фандомата- это массовые точки продаж: гипермаркеты, торговые центры, операторы по сбору отходов. Продуктовые и вещевые магазины при установке терминала, имеют выгоду, поскольку за сданные отходы терминал выдает скидку на продукцию, и именно по определенному адресу. Операторам по вывозу отходов это также выгодно с точки зрения возможности быстрой аккуратной автоматической сортировки хорошо реализуемых отходов. Потенциал развития данной продукции будет стремительно расти, поскольку тенденция вывоза отходов всвязи с ростом

цен будет с каждым годом набирать актуальность.

Список используемых источников:

1. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019611144, 22.01.2019. Заявка № 2018665516 от 29.12.2018. "Программа для адаптации технологии переработки коммунально-бытовых отходов ECO-365"/ К.В. Епифанцев; заявитель и патентообладатель – Санкт-петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
2. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019612213, 13.02.2019. Заявка № 2019610997 от 05.02.2019. Программа для обмена сообщениями между пользователями в среде отходооборота WASTEMES/ Епифанцев К.В; заявитель и патентообладатель – Санкт-петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
3. Постановление Правительства РФ от 17 июля 2019 года N 906 «Об утверждении Правил предоставления из федерального бюджета субсидии на реализацию отдельных мероприятий федерального проекта "Комплексная система обращения с твердыми коммунальными отходами" национального проекта "Экология"»
4. Курочкина А.А., Чалганова А.А. Система залоговой стоимости тары – проблемы и перспективы создания// В сборнике: Стратегии развития предпринимательства в современных условиях. Сборник научных трудов III международной научно-практической конференции. Санкт-Петербургский государственный экономический университет. 2019. С. 22-25.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ УЧЕТА И АНАЛИЗА ПРОВЕДЕНИЯ РЕМОНТНЫХ РАБОТ
В КОТЕЛЬНОМ ЦЕХЕ ООО «ЮТЭЦ»**

Е.В. Телипенко, к.т.н., доцент, Е.И. Матанский, студ.

Юргинский технологический институт (филиал)

Национального исследовательского Томского политехнического университета,

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: telipenko@tpu.ru

Аннотация: в статье представлена разработка информационной системы для автоматизации учета и анализа проведения ремонтных работ в котельном цехе ООО «ЮТЭЦ». Для разработки информационной системы выбрана платформа «1С: Предприятие». Показаны созданные в системе основные объекты: справочники, документы, отчеты.

Abstract: the article presents the development of an information system for the automation of accounting and analysis of repair work in the boiler room. For the development of the information system, the 1C: Enterprise platform was chosen. The main objects created in the system are shown: directories, documents, reports.

Ключевые слова: справочник, документ, отчет, функция, журнал, план, наряд, дефектная ведомость, задание, ремонт, оборудование.

Keyword: reference book, document, report, function, journal, plan, outfit, defective statement, task, repair, equipment.

Разработанная информационная система выполняет следующие функции: учет сотрудников, оборудования и материалов в цехах; учет плановых и текущих ремонтных работ, их выполнения; учет материалов для ремонтных работ; анализ проведения ремонтных работ.

Рассмотрим документы и отчеты, созданные в системе:

1. Документ «План ежедневного обхода» - предназначен для фиксации информации об осмотре котла.
2. Документ «Журнал регистрации дефектов оборудования» (рис. 1) предназначен для фиксации информации о дефектах, обнаруженных в ходе осмотра.

Провести и закрыть Записать Провести Создать на основании ▾

Номер: 000000001

Дата: 11.04.2021 12:49:06

Добавить ↑ ↓

N	Время записи	Наименование оборудования	Сущность дефектов	Замечания начальника смены о времени выполнении	Ед изм	Отметка мастера об устранении дефектов
			Необходимые мероприятия по их устранению			
1	13:00:00	Паропровод 1го котла, 7я отметка, турбинного цеха	Свищ Демонтаж дефектного участка трубы, монтаж катушки	5	День	<input type="checkbox"/>

Рис. 1. Форма документа «Журнал регистрации дефектов оборудования»

Далее заполняется документ «Дефектная ведомость» (рис. 2-3).

Провести и закрыть Записать Провести Создать на основании ▾

Номер: 000000001

Дата: 15.03.2021 12:00:00 📅

Дефектная ведомость: На замену нагревательных трубопроводов и нагревательного коллектора

Обнаруженные дефекты: Значительный коррозионный износ, образование свищей, трещин.

Журнал регистрации дефектов оборудования: Журнал регистрации дефектов оборудования 000000001 от 15.03.2021 📄

Объем работ по устранению Материалы необходимые для устранения

Добавить ↑ ↓

N	Наименование работ	Ед-из	Кол-во	Примечание
1	Замена прямых труб 325/10	Кг	1 350	
2	Замена прямых труб 219/10	Кг	55	
3	Изготовление Секторных отводов трубы до 219/10	Шт	4	
4	Замена гибов 325/10 трубопроводов	Кг	223	
5	Изготовление Секторных отводов трубы до 325	Шт	2	
6	Замена гибов 325/10	Кг	300	
7	Изготовление переходов 219/159	Шт	3	
8	Изготовление скользящих опор, подвесных	Шт	7	
9	Замена опор и подвесок с установкой трубопровода в проект...	Шт	7	

Рис. 2. Форма документ «Дефектная ведомость»

Объем работ по устранению Материалы необходимые для устранения

Добавить ↑ ↓

N	Наименование материала	Кол-во	Ед-из
1	Электроды УОНИ 13/55 4	2	Кг
2	Труба 325/10	134	Кг
3	Труба 219/8	209	Кг

Рис. 3. Форма документ «Дефектная ведомость», вкладка «Материалы необходимые для устранения»

Документ «Журнал сменных заданий ремонтному персоналу» (рис.4) формируется после дефектной ведомости и содержит информацию о датах проведения работ, ответственных и факте выполнения.

Провести и закрыть Записать Провести Еще ▾

Номер: 000000004

Дата: 12.04.2021 11:10:35 📅

Дефектная ведомость: Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00 📄

Добавить ↑ ↓ Еще ▾

N	Звено	Содержание ремонтных заданий	Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Отметка о выполнении задания	Виды и замечания технического персонала	Количество
1	Звено 1	Создание лопаток ротора	01.04.2021	02.04.2021	<input type="checkbox"/>		
2	Звено 1	Монтаж - демонтаж лопаток ротора	05.04.2021	19.04.2021	<input checked="" type="checkbox"/>		

Рис. 4. Форма документ «Журнал сменных заданий ремонтному персоналу»

Документ «Журнал регистрации работ, выполняемых по наряду» (рис. 5).

Провести и закрыть Записать Провести

Номер: 000000001

Дата: 14.04.2021 14:14:59

Наименование оборудования: Воздухозаборник котла 1.

К работе приступили дата и время: 06.04.2021 8:14:00

Работу закончили дата и время: 06.04.2021 3:58:00

Добавить ↑ ↓

N	Необходимые мероприятия по их устранению
1	Демонтаж дефектного участка
2	Обработка торцов труб под сварочные мероприятия
3	Монтаж заготовки
4	Сварка

Рис. 5. Форма документ «Журнал регистрации работ, выполняемых по наряду»

Документ «Журнал заявок диспетчеру на вывод в ремонт и остановку основного оборудования» (рис. 6).

Провести и закрыть Записать Провести

Номер:

Дата: 06.04.2021 0:00:00

Дата и время получения заявки: 06.04.2021 9:00:00

Цех от которого поступила заявка: Котельный цех

Содержание заявки: Вывести в ремонт котел №1

Срок остановки: 17.04.2021

Рис. 6. Форма документ «Журнал заявок диспетчеру на вывод в ремонт и остановку основного оборудования»

Документ «Наряд - допуск» (рис. 7).

Провести и закрыть Записать Провести Печать Создать на основании ▾

Номер: 000000001

Дата: 12.04.2021 12:34:54

Наименование организации, предприятия: ООО ЮТЭЦ

Наряд - допуск на производство работ повышенной опасности от: 12.04.2021

1 2 10 12

Ответственному исполнителю работ: Попов Андрей Сергеевич

С бригадой в составе (Человек): 4

Добавить ↑ ↓

N	Провести следующие работы
1	Демонтаж дефектного участка
2	Обработка торцов труб под сварочные мероприятия
3	Монтаж заготовки
4	Сварка

Рис. 7. Форма документ «Наряд - допуск»

Секция 3: Информационные технологии и автоматизация производственных процессов

Отчет о выполнении ремонтных работ по дефектным ведомостям (рис. 8).

Сформировать

Выбрать вариант...

Настройки...

Дефектная ведомость						
№ в группе	Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Работа	Ответственный	Отметка о выполнении задания	
[-]	Дефектная ведомость 000000001 от 15.03.2021 12:00:00					
	1	05.04.2021	07.04.2021	Замена прямых труб 325/10	Звено 1	В процессе
	2	08.04.2021	12.04.2021	кнаквнук	Звено 2	Выполнено
	3	08.04.2021	12.04.2021	Изготовление Секторных отводов трубы до 219/10	Звено 2	В процессе
[-]	Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00					
	1	01.04.2021	02.04.2021	Создание лопаток ротора	Звено 1	В процессе
	2	05.04.2021	19.04.2021	Монтаж - демонтаж лопаток ротора	Звено 1	В процессе
[-]	Дефектная ведомость 000000002 от 11.04.2021 18:01:29					
	1			егаваегv		В процессе
[-]	Дефектная ведомость 000000004 от 12.04.2021 18:38:54					
	1			Демонтаж дифектного участка	Звено 1	В процессе
	2			Подготовка заготовки	Звено 2	В процессе
	3			Монтаж	Звено 1	В процессе

Рис. 8. Форма отчета «Отчет о выполнении ремонтных работ по дефектным ведомостям»

Отчет о выполнении текущих работ (рис. 9).

<div>Сформировать</div> <div>Выбрать вариант...</div> <div>Настройки...</div>						
Дефектная ведомость			Количество этапов	Завершено этапов	% завершения	
Журнал сменных заданий			Дата начала ремонта	Дата окончания ремонта	Содержание ремонтноуперсоналу	Отметка о выполнении задания
Дефектная ведомость 000000001 от 15.03.2021 12:00:00				9	1	11,11
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000001 от 07.04.2021 22:37:28			05.04.2021	07.04.2021	Замена прямых труб 325/10	-
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000002 от 07.04.2021 23:53:15			08.04.2021	12.04.2021	кнаквнук	Выполнено
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000002 от 07.04.2021 23:53:15			08.04.2021	12.04.2021	Изготовление Секторных отводов трубы до 219/10	-
Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00				3	0	0
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000004 от 12.04.2021 11:10:35			01.04.2021	02.04.2021	Создание лопаток ротора	-
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000004 от 12.04.2021 11:10:35			05.04.2021	19.04.2021	Монтаж - демонтаж лопаток ротора	-
Дефектная ведомость 000000002 от 11.04.2021 18:01:29				3	0	0
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000003 от 12.04.2021 11:01:36					егаваегv	-
Дефектная ведомость 000000004 от 12.04.2021 18:38:54				3	0	0
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02					Демонтаж дифектного участка	-
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02					Подготовка заготовки	-
Журнал сменных заданий ремонтного персонала 000000005 от 12.04.2021 18:40:02					Монтаж	-

Рис. 9. Форма отчета «Отчет о выполнении текущих работ»

Отчет о материалах, находящихся в наличии (рис. 10).

<div>Сформировать</div> <div>Выбрать вариант...</div> <div>Настройки...</div>		
Наименование	Наличие	Еденица измерения.Наименование
Пропан	8	Балон
Кислород	13	Балон
Труба 328/6	500	Kg
Труба 432/8	660	Kg
Труба 527/6	450	Kg
Труба 183/4	320	Kg
Труба 228/6	700	Kg
Труба 256/6	590	Kg
Труба 256/ 8	680	Kg
Труба 219/8	490	Kg
Труба 325/10	670	Kg
Электроды УОНИ 13/55 4	200	Kg
Электроды УОНИ 13/55 3	300	Kg
Лист 8	5 000	Kg
Лист 12	3 200	Kg

Рис. 10. Форма отчета «Отчет о материалах, находящихся в наличии»

Отчет о расходах материалов (рис. 11).

Сформировать
Выбрать вариант...
Настройки...

Дефектная ведомость		Количество
Израсходованный материал	Ед-им	
Дефектная ведомость 000000001 от 15.03.2021 12:00:00		345
Электроды УОНИ 13/55 4	Кг	2
Труба 325/10	Кг	134
Труба 219/8	Кг	209
Дефектная ведомость 000000003 от 01.04.2021 12:00:00		1 006
Лист 8	Кг	990
Электроды УОНИ 13/55 4	Кг	2
Кислород	Балон	12
Пропан	Балон	2

Рис. 11. Форма отчета «Отчет о расходах материалов»

Отчет требуемых материалов (рис. 12).

Сформировать
Выбрать вариант...
Настройки...

Отчетный месяц: ☒ Этот месяц

Параметры: Отчетный месяц: 01.04.2021 - 30.04.2021				
Материал	Ед-им	Наличие материала	Расход по дефектной ведомости	Требуемое количество (+ перерасход, - экономия)
Кислород	Балон	20	12	-8
Электроды УОНИ 13/55 4	Кг	500	2	-498
Труба 325/10	Кг	2 100		
Труба 219/8	Кг	2 200		
Лист 8	Кг	5 500	990	-4 510
Пропан	Балон	9	2	-7
Труба 183/4	Кг	1 990		
Труба 228/6	Кг	1 500		
Труба 256/ 8	Кг	1 330		
Труба 256/6	Кг	1 350		
Труба 328/6	Кг	1 670		
Труба 432/8	Кг	1 400		
Труба 527/6	Кг	1 900		
Электроды УОНИ 13/55 3	Кг	300		
Лист 12	Кг	3 200		

Рис. 12. Форма отчета «Отчет требуемых материалов»

В данный момент большинство производственных отделов ООО «ЮТЭЦ» не автоматизированы, не является исключением котельный цех, основной проблемой является ручное заполнение документов на бумаге, что приводит к большой затрате времени и ошибкам при формировании отчетной документации. Для решения данной проблемы было решено разработать информационную систему для автоматизации документооборота производственных процессов.

Планируется разработать два интерфейса:

- учет выполненных работ, учет ремонтного материала;
- контроль качества выполненных работ и расход ремонтного материала.

Первый интерфейс предназначен для работников цеха и позволяет вести учет и анализ ремонтных работ и ремонтного материала.

Второй интерфейс предназначен для инженера и административного персонала вести учет и формировать отчеты о проверке ремонтных работ и израсходованном материале.

Информационная система должна иметь возможность настраивать права доступа для различных пользователей на использование конкретных документов и просмотр отчетов.

Планируемое количество пользователей: 10 -15 человек в зависимости от наличия лицензии на программное обеспечение и оборудованных компьютером рабочих мест в организации.

Для разработки информационной системы было выбрано решение «1С: Предприятие» по причине уже имеющихся продуктов 1С на предприятии что будет способствовать масштабируемости и модернизации информационной системы, а своей универсальностью сможет полностью удовлетворить нужды предприятия.

Одним из основных свойств «1С: Предприятие» - конфигурируемость. Оно делает возможным изменять типовые решения под нужды бизнес-процесса, дорабатывать их, учитывая специфику предприятия. Данное решение не зависит от отрасли предприятия, она универсальна.

Преимущества созданной системы:

- полная настройка рабочих процессов в соответствии с требованием предприятия;
- удобный и интуитивно понятный пользовательский интерфейс благодаря чему можно быстро освоить программу;
- возможность вести отчетность для нескольких предприятий;
- масштабируемость прикладных решений в зависимости от объема задач;
- работа с отчетами и печатными формами.

Возможна дальнейшая доработка и расширение возможностей и отчетов базы.

Экономическое обоснование разработки и внедрения проекта представлено в таблице 1.

Таблица 1

Экономическое обоснование разработки и внедрения проекта

Показатель	Значение
Затраты на разработку проекта, руб.	118 234
Общие эксплуатационные затраты, руб.	32 474,35
Экономический эффект, руб.	100 936,929
Коэффициент экономической эффективности	1,047
Срок окупаемости, лет	0,955

Выполненные расчеты показывают, что внедрение разработанной информационной системы имеет экономическую выгоду. Ожидаемый экономический эффект 100 936,929 руб., коэффициент экономической эффективности 1,047, срок окупаемости около 11 месяцев.

Список используемых источников:

1. Введение в программную инженерию: Учебник / В.А. Антипов, А.А. Бубнов, А.Н. Пылькин, В.К. Столчнев. – Москва: КУРС: ИНФРА-М, 2019. – 336 с. – ISBN 978-5-906923-22-6. – Текст: электронный. – Заглавие с титульного экрана. – Схема доступа: <https://ezproxy.ha.tpu.ru:2987/catalog/product/1035160>.
2. Волк, В. К. Практическое введение в программную инженерию: учебное пособие / В. К. Волк. – Санкт-Петербург: Лань, 2019. – 100 с. – ISBN 978-5-8114-3656-9. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – Заглавие с титульного экрана. – Схема доступа: <https://ezproxy.ha.tpu.ru:2330/book/119634>.
3. Важаев А.Н. Менеджмент в разработке программных продуктов: Электронное учебное пособие / А.Н. Важаев. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Системные требования: MS Windows 2000/XP/Vista/7/8
4. Важаев А.Н. Программная инженерия: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Программная инженерия» для бакалавров, обучающихся по направлению 09.03.03 «Прикладная информатика» / А.Н. Важаев; Юргинский технологический институт. – Юрга: Изд-во Юргинского технологического института (филиала) Томского политехнического университета, 2017. – 113 с.
5. Первый бит: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://kemerovo.1cbit.ru/blog/opisanie-i-vozmozhnosti-1s-predpriyatie-8/> (дата обращения: 19.04.2021). – Текст электронный.

СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ СЕРВИСОВ РАЗМЕЩЕНИЯ ЗАКАЗОВ И УСЛУГ

Т.Ю. Чернышева к.т.н., доц., А.А. Скроботов., студ.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: tatch@list.ru

Аннотация: Данная статья посвящена сравнению сервисов по заказу услуг онлайн в виде сайта. Проведен обзор, сравнение функциональных возможностей, а также различных критериев программных продуктов. Сервисы предназначены для создания возможности коммуникации (удаленно) между клиентом в лице заказчика услуги и исполнителем в лице ИП (либо самозанятого), оказывающего данную услугу.

Abstract: This article is devoted to the comparison of services for ordering services online in the form of a site. A review, comparison of functionality, as well as various criteria of software products is carried out. The services are designed to create the possibility of communication (remotely) between the client represented by the customer of the service and the performer represented by the individual entrepreneur (or self-employed) providing this service.

Ключевые слова: исполнитель, заказ, услуга, работа, оплата, декомпозиция, модель данных, учет, сервис.

Key words: performer, order, service, work, payment, decomposition, data model, accounting, service.

Обзор решений

Анализируя действующие сервисы (сайты) по размещению заказов и предложений об услугах, можно рассмотреть шаги этого механизма: заказчику необходимо создать задание с требованиями по заказу, в свою очередь сервис передает это задание своим исполнителям, а они уже соответственно связываются с заказчиком сами [1].

1. Яндекс.Услуги – это информационная платформа, помогающая найти специалистов для решения различных задач, к примеру уборка квартиры, ремонт техники, организация фотосессии или отправка посылки курьером.

Чтобы вызвать специалиста, необязательно регистрироваться и размещать объявление:

Доступность и удобство в заказе услуг, обеспечивается простотой возможности заказать исполнителя, даже без необходимости длительных регистраций и размещения объявлений, достаточно лишь выбрать профиль специалиста и связаться с ним. После оказания услуги, можно оценить проделанную работу и оставить комментарии работнику.

Если работников нет в наличии, имеется возможность оставить заказ на сайте [2].

2. TUCAN.PRO

TUCAN.PRO – удобный сервис, помогающий заказать любую услугу, обеспечивая помощь в поиске надежных исполнителей для решения задач заказчика.

Сервис делает упор в простоту и удобство, при заказе услуг, для этого достаточно выполнить три шага:

1. Создать задание (описать задачу, которую требуется выполнить)
2. Ждать отклика исполнителей (время ожидания зависит от популярности заказанной услуги).
3. Выбрать лучшее предложение.

TUCAN.PRO гарантирует своим пользователям:

- Выгодные цены. У частных исполнителей нет расходов на офис, рекламу, зарплату секретарю и других затрат, которые сервисные компании обычно включают в стоимость своих услуг.
- Проверенные исполнители. Все исполнители проходят процедуру верификации, благодаря постоянной и интенсивной работе сотрудников сервиса.
- Экономия времени. Клиент может найти подходящего исполнителя за несколько минут. Многие из них готовы приступить к работе в тот же день, а иногда в тот же час [3].

3. SKILLJOB

Данный сервис уникален тем, что делает упор в сторону поддержки исполнителей, для людей, оказывающих услуги будет предоставлена всесторонняя помощь.

Как и в других сервисах, данная платформа направлена на помощь в поиске заказов, но помимо этого SKILLJOB имеет активные форумы, статьи, помощь в выборе материалов, инструментах и т.д.

Также сервис имеет встроенный калькулятор расчета количества и стоимости материалов [4].

4. You Do

You Do гарантирует надежность исполнителей, качество работы и безопасность при заказе услуг.

База исполнителей составляет около 15 млн. человек. Сами же услуги имеют широкий спектр, начиная с курьерских заказов, уборки и заканчивая ремонтом транспорта, различными мероприятиями и репетиторством.

Сервис обеспечивает:

- удобную и безопасную оплату;
- надежных исполнителей;
- достоверных исполнителей;
- эффективность в работе бизнеса.

Сайт сервиса имеет приятный дизайн, удобство пользования и простоту процесса заказов [5].

Сравнение функций ПП

Сервис должен обеспечивать возможность выполнения перечисленных ниже механизмов:

1. Предоставлять пользователям возможность заказывать услуги и оказывать услуги (т.е. зарегистрированный пользователь сервиса способен в одно и то же время быть и заказчиком, и исполнителем).
2. Поддерживать коммуникацию между пользователями в самом сайте (между исполнителем и заказчиком).
3. Осуществлять связь пользователя с тех. поддержкой.
4. Давать пользователям возможность оценивать качество выполняемой работы.
5. Обеспечивать удобство и простоту при работе.
6. Информационно поддерживать своих исполнителей.

Таблица 1

Сравнение функций

Функции	Яндекс.Услуги	TUCAN.PRO	SKILLJOB	You Do
1	+	+	+	+
2	+	-	+	+
3	+	+	+	+
4	+	+	+	+
5	+	+	-	+
6	-	-	+	-

В качестве показателей качества сервисов будет выступать следующий перечень критериев:

- Качество работы сайта (отлично, хорошо, удовлетворительно).
- Адаптивность сайта (отлично, хорошо, удовлетворительно).
- Удобство использования (отлично, хорошо, удовлетворительно).
- Спектр услуг (широкий, средний, низкий).
- Сопровождаемость (постоянная, переменная, низкая).
- Поддержка пользователей (имеется, отсутствует).
- Безопасность оплаты услуг (отлично, хорошо, удовлетворительно).

Таблица 2

Сравнение показателей качества ПП

Показатели качества	Яндекс.Услуги	TUCAN.PRO	SKILLJOB	You Do
Качество работы сайта	отлично	хорошо	хорошо	отлично
Адаптивность сайта	отлично	удовл.	хорошо	хорошо
Удобство использования	хорошо	удовл.	отлично	отлично
Спектр услуг	широкий	низкий	средний	широкий
Сопровождаемость	постоянная	переменная	постоянная	постоянная
Поддержка пользователей	имеется	имеется	имеется	имеется
Безопасность оплаты услуг	отлично	хорошо	отлично	удовл.

Разрабатываемый сервис представляет собой информационную платформу, помогающую найти специалистов для выполнения определенных услуг, например, уборка квартиры, ремонт техники, организация фотосессии или отправка посылки курьером [6].

Чтобы вызвать специалиста, пользователю сервиса необязательно регистрироваться и размещать объявление. При заказе услуг достаточно выполнить три шага:

1. создать задание (описать задачу, которую требуется выполнить);
2. ждать отклика исполнителей (время ожидания зависит от популярности заказанной услуги);
3. выбрать лучшее предложение.

Доступность и удобство в заказе услуг, обеспечивается простотой возможности заказа услуги у исполнителя, даже без необходимости длительных регистраций и размещения объявлений, достаточно лишь выбрать профиль специалиста и связаться с ним. После оказания услуги, имеется возможность оценить проделанную работу и оставить комментарии с отзывом на оказанную услугу.

На рисунке 1 представлены входная информация, управляющие документы, механизмы и выходная информация сервиса.

Главная цель диаграммы потоков данных (DFD) – показать механизм преобразования входных данных в выходные, а также выявить отношения между этими работами.

На диаграмме потоков данных добавляется 4 работ (функций) проектируемой информационной системы, DFD диаграмма позволяет установить связь между этими работами [7].

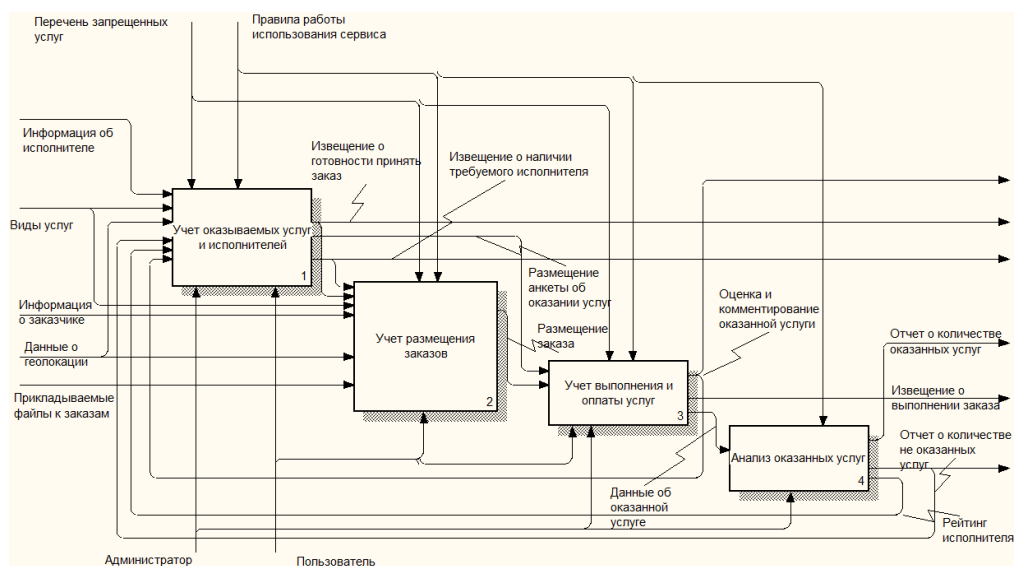


Рис. 1. Декомпозиция контекстной диаграммы

На рисунке 2 отражена диаграмма потоков данных:

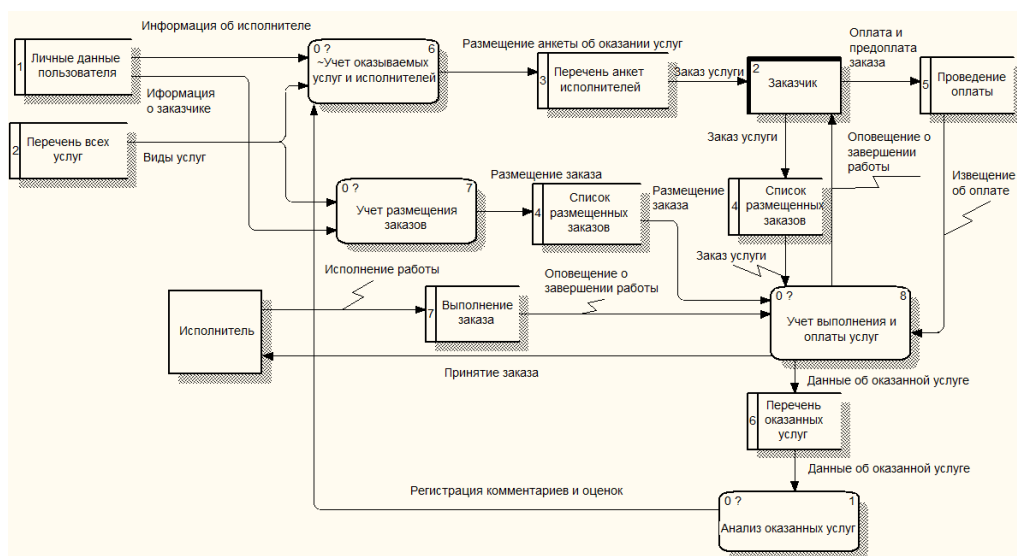


Рис. 2. Модель потоков данных DFD

Список используемых источников:

1. Чернышёва, Татьяна Юрьевна. Интернет-маркетинг и продажи в сфере IT-разработок / Т.Ю. Чернышёва, Д. Е. Соколовский // Современные технологии поддержки принятия решений в экономике сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 24-25 ноября 2016 г., г. Юрга: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. А.А. Захаровой . – Томск : Изд-во ТПУ , 2016 . – [С. 167-169] .
2. Яндекс.Услуги [Электронный ресурс] URL: https://yandex.ru/uslugi/?utm_campaign=ssa_brand_ru.ru_desktop&utm_medium=search&utm_source=google: дата обращения 20.12.2020
3. TUCAN.PRO [Электронный ресурс] URL: <https://tucan.pro/>: дата обращения 20.12.2020
4. SKILLJOB [Электронный ресурс] URL: <https://skilljob.ru/search-results/?view-type=grid>: дата обращения 20.12.2020
5. YouDo [Электронный ресурс] URL: <https://youdo.com/>: дата обращения 20.12.2020
6. Скроботов, А. А.. Использование сервисов тест-кейсов при разработке и проверке сценариев / А. А. Скроботов, Т. Ю. Чернышёва // Инновационные технологии в машиностроении сборник трудов X Международной научно-практической конференции, 23–25 мая 2019 г., Юрга: / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Юргинский технологический институт (ЮТИ) ; под ред. Е. А. Зернина . – Томск : Изд-во ТПУ , 2019 . – [С. 232-235].
7. Hierarchical Model of Assessing and Selecting Experts / T. Yu. Chernysheva [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering . – 2016 . – Vol. 127 : Urgent Problems of Modern Mechanical Engineering . – [012027, 6 p.] .

СЕКЦИЯ 4: ПРОМЫШЛЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

ПРИМЕНЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОПЛЕНОК В ЗЕЛЕННОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

А.Л. Новикова¹, аспирантка группы А7-52,

Научный руководитель: Назаренко О.Б., профессор, д.т.н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: furia.08@mail.ru

Аннотация: В данной статье представлены результаты исследования углеродных (графеновых) нанопленок, полученных из природного минерала шунгита, с целью дальнейшего использования в зеленой энергетике. Исследования показали, что после обработки минерала в ультразвуковой ванне образцы шунгита разрушились и приобрели форму тонких наноструктурированных пленок с хорошо развитой удельной поверхностью и размерами пленок до 200 нанометров. Так как мы знаем, что минерал на 98% состоит из углерода в аморфной форме, соответственно можно сказать, что мы получили углеродные пленки.

Abstract: This article examines the possibility of using carbon (graphene) nano-films obtained from the natural mineral shungite in green energy. Studies have shown that after processing the mineral in an ultrasonic bath, the shungite samples collapsed and took the form of thin nano-structured films with well-developed specific surfaces and film sizes up to 200 nanometers. Since we know that the mineral is 98% carbon in amorphous form, we can say that we have obtained carbon films.

Ключевые слова: шунгит, углерод в аморфной форме, углеродные нанопленки, зеленая энергетика, солнечные батареи.

Keywords: shungite, carbon in amorphous form, wastewater, minerals, wastewater treatment, catalytic wastewater treatment.

Как известно, зеленая энергетика подразумевает под собой использование возобновляемых источников энергии, и различные страны уже используют ветрогенераторы и солнечные панели. Существует сразу несколько проблем, связанных с солнечными батареями: эффективность используемых для батарей материалов (от 1 до 13%), малый срок работы батарей. При использовании материалов с малым сроком эксплуатации возникает экологическая проблема вторичного загрязнения среды. Для решения этой проблемы необходимо создать материалы или композитные материалы, которые будут иметь высокую эффективность, экологическую безопасность и большее время жизни материала. Одним из материалов, которые сейчас активно исследуются в качестве основного материала для солнечных панелей, является графен. Графен – это 2D материал, представленный тонкими пленками толщиной слоя в 1 атом состоящий из аллотропного углерода в sp² форме гибридизации [1]. Графен находит применение в солнечных батареях, суперконденсаторах, в топливных элементах и аккумуляторах. Графен обладает высокой теплопроводностью, электропроводностью, гибкостью, упругостью, подвижностью и прозрачностью. Так же графеновые слои обладают высокой удельной поверхностью и антимикробными свойствами. Графеновые пленки получают следующими методами: метод химического расщепления (обработка графита смесью серной и азотной кислот, восстановление монослойных пленок оксида графена), метод механического расщепления (графит помещают между липкими лентами и отщепляют слои графена), радиочастотное плазмохимическое осаждение из газовой среды и рост графеновых пленок при высоких температурах и давлении [2].

В данной работе используются углеродные пленки, полученные из природного минерала шунгита Зажогинского месторождения (Карелия). Шунгит для исследований был выбран не случайно, так как в его составе присутствуют sp¹+sp²+sp³ гибридные формы углерода, также данный минерал относится к I группе шунгитов, что говорит о том, что в составе минерала присутствует более 98% углерода [3–7]. Из изученной литературы известно, что из шунгита можно получить графен, так как в составе минерала имеется sp² гибридная форма углерода [8,9]. На данном этапе исследовались свойства поверхности полученных из шунгита углеродных (графеновых) пленок.

Исследования проводили, используя трансмиссионный электронный микроскоп (ТЭМ) JEOL JEM 2100F. Трансмиссионный электронный микроскоп с полевой эмиссионной пушкой JEM-2100F представляет собой современную аналитическую систему сверхвысокого разрешения, способную обеспечить атомную визуализацию с высоким пространственным разрешением и анализ микроструктуры образцов материалов. Для изучения состава элементов была использована рентгеновская фотоэлектронная спектроскопия (XPS).

Исследования проводились с помощью сканирующего электронного микроскопа с низким вакуумом и вольфрамового источника электронов Кванта 200 СЭМ. Его четыре квадрантных дисплея одновременно предоставляют информацию о поверхности и фазе с помощью изображений вторичных электронов (SE) и обратно рассеянных электронов (BSE) в реальном времени.

Пробы шунгита механически измельчали, затем небольшие частицы наносили на углеродный скотч, далее образцы помещали на аналитическую станцию сканирующего электронного микроскопа и изучали поверхность образцов шунгита. Полученные данные представлены на рисунке 1.

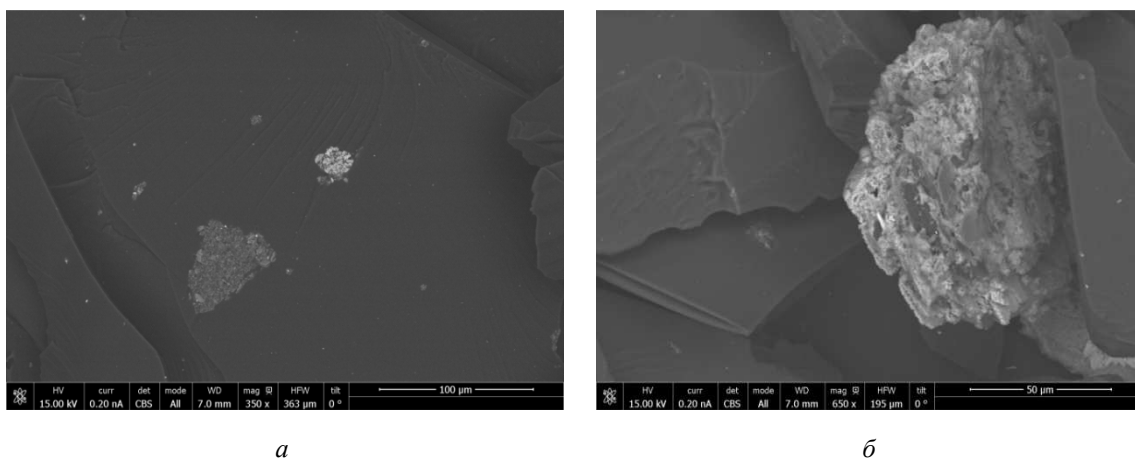


Рис. 1. а – SEM изображение поверхности образцов шунгита с минеральными включениями в образце с увеличением $\times 350$, б – SEM изображение поверхности образцов шунгита с минеральными частицами в образце с увеличением $\times 650$

Из исследований, проводимых ранее, известно, что темная часть минерала представлена углеродной формой, минеральные включения представлены кремнием, кислородом, ванадием, алюминием, калием, цинком и серой (вещества представлены в порядке уменьшения доли в составе минерала).

Измельченный шунгит помещали в пластиковую колбу, диспергировали в ультразвуковой ванне в течение 2,5 часов с добавлением дистиллированной воды. Полученный образец гомогенизированного раствора частиц шунгита и воды помещали на углеродный скотч, промачивали фильтровальной бумагой, высушивали и перемещали на аналитическую станцию. Далее изучали участки образца с использованием трансмиссионного электронного микроскопа. Полученные данные представлены на рисунке 2.

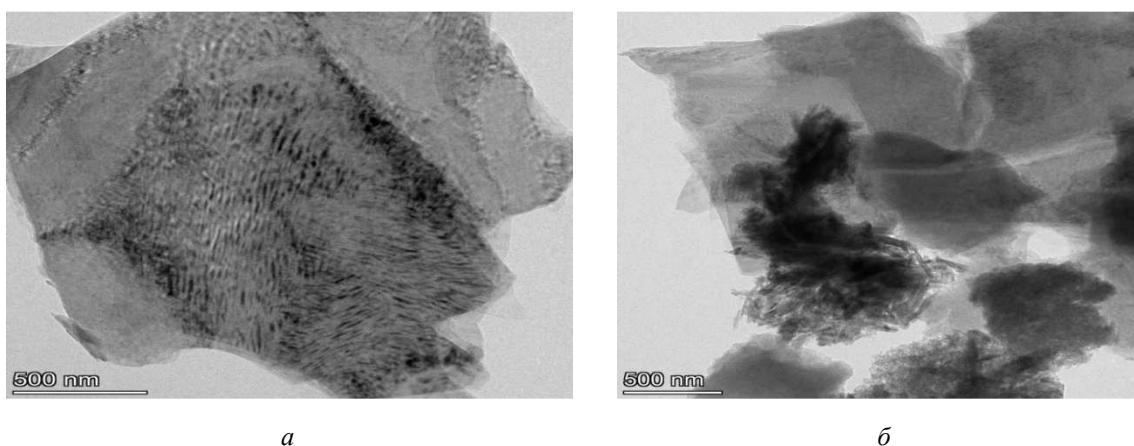


Рис. 2. а – ТЕМ изображение углеродных пленок полученных из природного шунгита с увеличением $\times 2800$, б – ТЕМ изображение углеродных пленок полученных из природного шунгита с увеличением $\times 2200$

ТЭМ изображения обработанного материала показали, что после обработки минерала в ультразвуковой ванне образцы шунгита разрушились и приобрели форму тонких наноструктурированных пленок с хорошо развитой удельной поверхностью и размерами пленок до 200 нанометров. Так как мы знаем, что минерал на 98 % состоит из углерода в аморфной форме, то можно сделать вывод, что мы получили углеродные пленки. Из литературных данных известно, что из шунгита можно получить графеновые пленки [10].

Список используемых источников:

1. Q. Liu, J. Shi, G. Jiang, Application of graphene in analytical sample preparation, *TrAC Trends Anal. Chem.* 37 (2012) 1–11.
2. Madderla Sandhya, D. Ramasamy, K. Sudhakar, K. Kadirgama, M. Samykano, W.S. W. Harun, G. Najafi, M. Mofijur, Mohamed Mazlan . A systematic review on graphene-based nanofluids application in renewable energy systems: Preparation, characterization, and thermophysical properties. *Sustainable Energy Technologies and Assessments* 44 (2021) 24p.
3. Шунгиты Карелии и пути их комплексного использования. Под ред. В.А. Соколова, Ю.К. Калинина. – Петрозаводск: Карелия, 1975.– 246 с.
4. V.A. Melezhik, M.M. Filippov, A.E. Romashkin, A giant Palaeoproterozoic deposit of shungite in NW Russia: genesis and practical applications, *Ore Geol. Rev.* 24 (2004) 135–154.
5. H.O. Pierson Handbook of carbon, graphite, diamond and fullerenes. – New Jersey U.S.A., Noyes Publications, 1993.
6. V. Kovalevsky, V. Shchiptsov, R. Sadovnichy, Unique natural carbon deposits of shungite rocks of Zazhogino ore field, Republic of Karelia, Russia, *Int. Multidiscip. Sci. Geo Conference SGEM.* 1 (2016) 673–680.
7. Tamburri, R. Carcione, S. Politi, M. Angiellari, L. Lazzarini, L.E. Vanzetti, S. Macis, G. Pepponi, M.L. Terranova, Shungite carbon as unexpected natural source of few-layer graphene platelets in a low oxidation state, *Inorg. Chem.* 57 (2018) 8487–8498.
8. О.В. Мясникова, А.В. Первунина, Перспектива комплексного использования низкоуглеродных шунгитсодержащих пород Карелии, (2019)
9. А.А. Ковальчук, А.В. Приходько, О.И. Коньков, Н.Н. Рожкова, Графено-подобный углерод шунгитовых пород Карелии как основа для получения наноструктурированных пленок, *Труды Карельского Научного Центра Российской Академии Наук.* (2018).
10. V.A. Reznikov, Y.S. Polekhovskii, Amorphous shungite carbon: a natural medium for the formation of fullerenes, *Tech. Phys. Lett.* 26 (2000) 689–693.

СТАРТОВОЕ УСТРОЙСТВО МОДУЛЯ ПРОХОДКИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТОК, СФОРМИРОВАННОЕ ИЗ ГЕОСРЕДЫ

А.В. Коперчук^{1,2,a}, к.т.н., доцент, В.Ю. Бегляков^{1,2}, к.т.н., доцент,

Р.С. Осипов², ведущий конструктор

¹ *Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского*

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)77763

² *ООО «Сибирское НПО»*

650991, Кемеровская область, г. Кемерово, Советский проспект, д. 56

E-mail: avkop@tpu.ru^a

Аннотация: В статье описано стартовое устройство модуля для проходки аварийно-спасательных выработок - геохода, сформированное из геосреды. Приведены некоторые результаты испытания.

Abstract: The article describes the starting device of the geokhod, made of soil. Some test results are presented.

Ключевые слова: модуль для проходки аварийно-спасательных выработок - геоход, стартовое устройство, результаты испытания.

Keywords: geokhod, starting device, test results.



Рис. 1. Демонстрационный образец модуля проходки аварийно-спасательных выработок

В 2019-20 году в ООО «Сибирское НПО» (г. Кемерово) был спроектирован и изготовлен демонстрационный образец модуля проходки аварийно-спасательных выработок (ДО МПАСВ), использующий для движения геоходный принцип перемещения (см. рис.1).

Испытания ДО МПАСВ в геосреде проводились в стенде (рис. 2), обеспечивающем возможность движения машины на расстояние до 3 м.

Особенности конструкции ДО МПАСВ [1,2,3,4] создают дополнительные требования к стартовому устройству [5], отличные от требований к конструкциям стартовых устройств проходческих щитов. Было принято решение, из возможных схем стартовых устройств [6] опробовать вариант с использованием машины, как формы для выполнения

действия стартового устройства. Последовательность действий:

- стенд частично заполняется уплотненной геосредой, в которой в направлении движения формируется траншея, по диаметру соответствующая диаметру корпуса;
- в траншею устанавливается ДО МПАСВ;
- для исключения попадания геосреды внутрь ДО МПАСВ снаружи корпуса на краю опорного модуля за элементами противовращения (ЭП) устанавливается щит и закрываются легко разрушаемым материалом щели в исполнительном органе главного забоя (ИОГЗ);
- засыпается геосреда до полного заполнения стенда (см. рис.3).

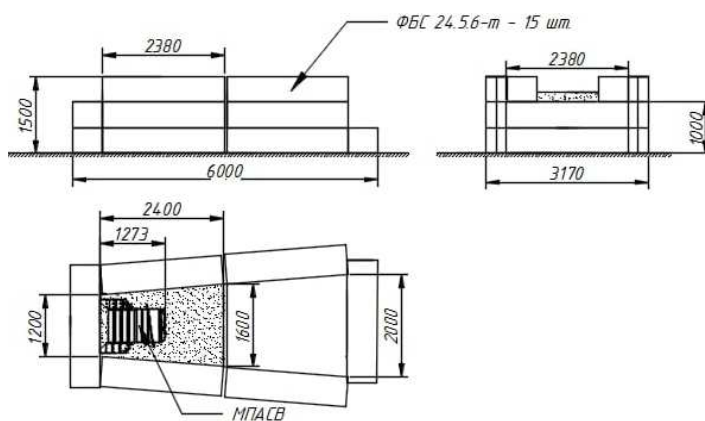


Рис. 2. Схема стенда для испытаний ДО МПАСВ



Рис. 3. МПАСВ на позиции старта

Преимущества данного решения стартового устройства:

- использование геосреды для формирования устройства;
- простота и низкая трудоемкость изготовления;
- не требуется изготовление винтовых и продольных каналов для внешнего движителя (ВД) и элементов противовращения (ЭП);
- не требуется наличие дополнительного устройства, подающего МПАСВ на забой;

- нет необходимости в синхронизации вращения МПАСВ с подачей на забой.
- Недостатки:
- нет возможности извлечения МПАСВ из выработки без его откапывания;
 - нет возможности многократного применения стартового устройства;
 - требуется защита опорного модуля и ИОГЗ от просыпания геосреды внутрь во время заполнения стенда;
 - повышенное трение на корпусе, ИОГЗ, ВД и ЭП в момент начала движения;
 - пониженная прочность геосреды, которой заполняется стенд при формировании стартового устройства по сравнению с неразрушенным массивом.

При планировании испытаний было принято решение об использовании самой сложной для МПАСВ среды – песка, и была проведена предварительная оценка возможности старта и движения в песке. Исходя из значений сил на ЭП и ВД, полученных по математической модели взаимодействия геохода с геосредой [7] и площадей ВД и ЭП, при условии равномерного контакта по площади расчетное давление на геосреду составляет 17 кПа. По СП 22.13330.2016 «Свод правил. Основания зданий и сооружений» [8] среднее давление на грунт с учетом коэффициента условий работы грунтов основания при динамических воздействиях для мелких водонасыщенных песков должно быть менее 140 кПа. Т.е. предварительный расчет показывает, что старт и движение в песке возможны.

Испытания доказали возможность старта и движения МПАСВ в песке, но выявили определенные недостатки стартового устройства. Во-первых, наблюдался не отмеченный в ранних исследованиях [9] эффект налипания мокрого песка на ВД (см. рис.4) и перенос его по направлению вращения приводного модуля. Из-за этого эффекта происходило разрушение опорного участка геосреды (см. рис. 5) и движение МПАСВ осуществлялось со скоростью существенно ниже расчетной.



Рис. 4. Эффект налипания песка на ВД ДО МПАСВ



Рис. 5. Разрушение опорного участка геосреды возле ВД

Во-вторых, имело место проворачивание опорного модуля и крен машины на $10^{\circ} \dots 20^{\circ}$ на каждый оборот внешнего движителя, что говорит о превышении предельного давления на геосреду от элементов противовращения. Была предпринята попытка увеличения прочности геосреды её периодическим уплотнением. Это привело к существенному увеличению трения на корпусе, сил сопротивления резанию на ИОГЗ и не позволило МПАСВ начать движение из-за небольшого запаса по мощности у демонстрационного образца.

Таким образом, проведенные испытания стартового устройства ДО МПАСВ, сформированного из наиболее проблемной для старта геосреды – песка выявили:

- принципиальную работоспособность данного способа старта;
- необходимость применения дополнительных решений для обеспечения старта (например, легко разрушаемый кожух вокруг ИОГЗ и корпуса для обеспечения движения в начальный момент старта при наличии уплотнения геосреды вокруг геохода; защиту от просыпаний внутрь для опорного модуля и ИОГЗ и др.);
- необходимость изменения параметров внешнего движителя и элементов противовращения ДО МПАСВ;
- крайнюю необходимость организации Центра испытаний проходческих подземных аппаратов [10].

Список используемых источников:

1. Аксенов В. В., Ефременков А. Б., Тимофеев В. Ю., Бегляков В. Ю., Блашук М. Ю. Проходческий щитовой агрегат (Геоход)//Пат. на изобретение RU 2418950; опубл. 20.05.2011, Бюл. № 14.
2. Аксенов В.В., Бегляков В.Ю., Блашук М.Ю., Ефременков А.Б., Казанцев А.А., Хорешок А.А., Вальтер А.В.. Геоход: задачи, характеристики, перспективы // Горное оборудование и электромеханика. -2016. - № 8. - С. 3 - 8.
3. Аксенов В. В. и др. Создание проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. области исследований //Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №. 2. – С. 3-12
4. Aksenov V. V. et al. Areas of research on the construction of tunneling underground machines of the Geokhod class //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020. – Т. 939. – №. 1. – С. 012006.
5. Коперчук А. В., Казанцев А. А. Обоснование необходимости разработки стартового устройства геохода //Инновационные технологии и экономика в машиностроении: сборник трудов VI Международной научно-практической конференции, 21-23 мая 2015 г., Юрга.—Томск, 2015. – 2015. – С. 439-440.
6. Коперчук А. В., Бегляков В. Ю. Выбор схемного решения стартового устройства геохода //Горное оборудование и электромеханика. - 2016. - №. 8. - С. 15-18.
7. Дронов, А.А. Обоснование параметров узла сопряжения секций геохода: дис. ... к-та. техн. наук: 05.05.06 / Дронов Антон Анатольевич. - Кемерово, 2020. - 169 с.
8. СП 22.13330.2016 Свод правил. Основания зданий и сооружений.
9. Аксенов В. В., Костинцев И. К., Бегляков В. Ю. Особенности работы внешнего двигателя геохода //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №. 6.
10. Аксенов В. В. и др. Центр испытаний проходческих подземных аппаратов, взаимодействующих с геосредой. Области исследований //Горное оборудование и электромеханика. – 2020. – №. 4. – С. 65-70.

ВЫБОР ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ И ДИАГНОСТИКИ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

О.Б. Скворцов^{1,2}, к.т.н.,

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН,
Россия, 101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4, тел. (499)135-81-20

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин»,
Россия, 115230, Москва, Варшавское шоссе, 46, тел. (495)120-03-18 доб.152

E-mail: oleg.b.skvorcov@gmail.com

Аннотация: Рассмотрены вопросы применения современных датчиков вибрации. Приведены примеры эффективности применения датчиков с встроенной электроникой. Рассмотрены пути устранения недостатков современных датчиков вибрации и перехода к использованию микроэлектронных акселерометров. Такие датчики позволяют получить бюджетные решения при построении систем промышленного мониторинга оборудования.

Ключевые слова: вибрация, акселерометр, резонанс, фильтр, интерфейс, динамический диапазон.

Annotation: The issues of using modern vibration sensors are considered. Examples of the efficiency of using sensors with built-in electronics are given. The ways of eliminating the shortcomings of modern vibration sensors and transition to the use of microelectronic accelerometers are considered. Such sensors make it possible to obtain low-cost solutions when building industrial equipment monitoring systems.

Key words: vibration, accelerometer, resonance, filter, interface, dynamic range.

Введение

Такие современные направления развития индустрии как промышленный интернет вещей (IIoT) или робототехника основаны на широком использовании датчиков различного назначения, обеспечивающих автоматические системы управления данными о контролируемых физических величинах. Всю совокупность датчиков можно разделить на датчики контроля статических и квазистатических величин и датчики контроля динамических величин. Датчики контроля динамических величин формируют данные в виде потоков информации и их важными характеристиками являются динамический амплитудный и частотный диапазоны.

Различные типы датчиков и краткое описание их особенностей представлено в [1]. Среди датчиков для измерения вибрации одним из наиболее распространенных типов являются пьезоэлектрические датчики вибрации (акселерометры). Такие датчики имеют сравнительно простую конструкцию, обес-

печивают высокую надежность, широкий динамический и частотный диапазоны измерения и сравнительно низкие цены. Существует большое разнообразие вариантов подобных датчиков [2]. Следует отметить, что для датчиков этого вида, также как и для целого ряда других, существенным является использование специализированных электронных согласующих узлов, обеспечивающих преобразование электрических сигналов первичного измерительного элемента датчика в нормализованный электрический сигнал. Пьезоэлектрические датчики при воздействии на них вибрации вырабатывают в пьезоэлектрическом элементе электрические заряды. Для преобразования их в нормализованный сигнал, как правило, используют усилитель заряда, который преобразует сигналы заряда в нормализованный сигнал напряжения. Выбор усилителя заряда в значительной степени определяет эффективность использования пьезоэлектрического датчика. Характерной особенностью простейших вариантов схем усилителей заряда при их работе с пьезоэлектрическими первичными измерительными преобразователями является то, что они реализуют амплитудно-частотную характеристику в виде фильтра верхних частот. Другими словами, для них характерно наличие нижней граничной частоты пропускания, ниже которой наблюдается снижение коэффициента передачи. Это существенно важнее возможного ослабления в области верхних частот связанное с возможным влиянием емкости нагрузки [1, стр.146].

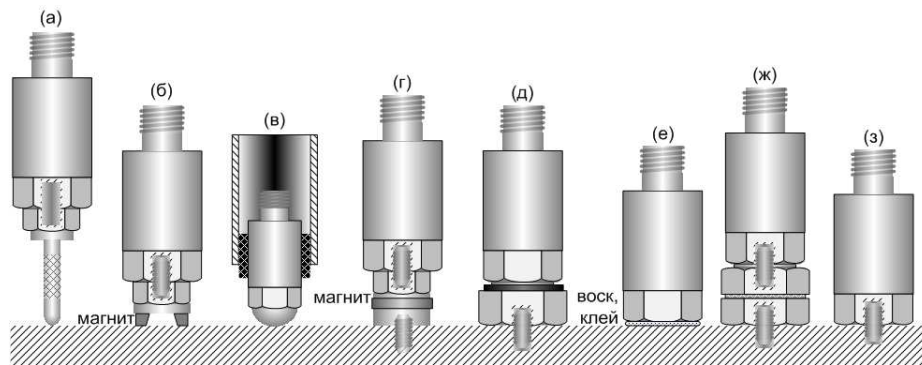


Рис. 1. Варианты установки датчиков вибрации (акселерометров) на поверхность.

Механический цуп (а); магнит на необработанной поверхности (б); пробник с установленным в нем датчиком (в); магнит на специально подготовленной поверхности (г); установка через механический фильтр (д); установка через воск, циакриновый или эпоксидный клей (е); крепление через электроизолирующую прокладку (ж); крепление шпилькой (з)

Влияние крепления датчика на его характеристики проявляется, прежде всего, в виде изменения амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) датчиков вибрации. Частотная зависимость характеристики датчика может быть представлена в виде функции от частоты f и частотой f_0 соответствующей максимуму АЧХ.

$$S(f) = S_0 / \sqrt{[1 - (f/f_0)^2]^2 + 4\zeta^2 (f/f_0)^2} \quad (1)$$

$$f_m = f_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2} \quad (2)$$

где f_0 – частота собственного резонанса датчика;

ζ – коэффициент демпфирования ($\zeta = 1/2Q$, где Q – добротность).

Примеры АЧХ акселерометра для разных вариантов крепления, показанных на рис. 1, приведены на рис. 2.

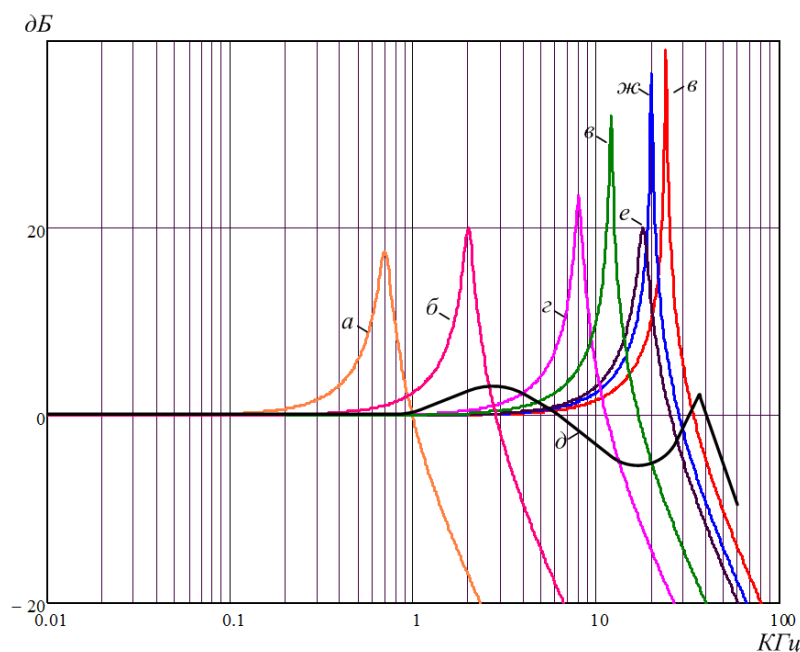


Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики для различных вариантов крепления пьезоэлектрического акселерометра общего назначения. Обозначения соответствуют буквенным вариантам крепления акселерометров на рис. 1

Влияние собственного резонанса датчика на результаты измерения вибрации

Наличие резонанса у пьезоэлектрического датчика накладывает существенные ограничения на возможности его применения. Присутствие высокочастотных вибрационных составляющих ускорения является распространенным случаем вибрации сложного оборудования. Большие высокочастотные ускорения могут возникать в моменты соударений в зубчатых передачах и при наличии дефектов в подшипниковых узлах скольжения и качения. Такие большие по амплитуде ускорения могут быть совершенно незаметными на спектрах скорости или перемещения для вибрации. Большие сигналы ускорения не только создают значительные локальные динамические механические нагрузки, но также могут приводить к перегрузкам в электронных схемах каналов измерения вибрации. Особенно существенно, что на резонансных частотах имеется повышение чувствительности датчика на порядок и более. Наличие высокочастотных составляющих ускорения может не только вызывать искажения при измерении высокочастотной вибрации, но также может приводить к появлению больших ложных составляющих низкочастотной вибрации. Данное явление получило наименование «ski sloope». В этом случае наблюдаются кратковременные высокочастотные перегрузки канала измерения вибрации, сопровождающиеся появлением насыщения в используемых активных электронных компонентах.

Одним из способов снижения вероятности перегрузки является ослабление уровня высокочастотных составляющих, действующих на датчик вибрации. Это может быть обеспечено при установке датчика в точке контроля через специальный механический фильтр, ослабляющий высокочастотные составляющие вибрации. Пример такого крепления показан на рис. 1д, а АЧХ для такого случая на рис. 2д.

Механический фильтр также может быть встроен в датчик [3], что позволяет повысить стабильность АЧХ такого датчика.

Пьезоэлектрический датчик при воздействии вибрации генерирует зарядовые сигналы, для измерения которых такой датчик должен быть подключен к каналу измерения, структурная схема которого показана на рис. 3. В качестве согласующего устройства для пьезоэлектрического датчика используют усилитель заряда или усилитель напряжения. Поскольку кабель, соединяющий пьезоэлемент датчика и согласующий усилитель, оказывается очень чувствительным к механическим и электрическим помехам, длину такого экранированного кабеля стараются минимизировать, а сам кабель выполняют по специальной антивибрационной технологии. Это существенно увеличивает стоимость такого кабеля. В ряде случаев стоимость кабеля может превышать стоимость собственно пьезоэлектрического датчика.

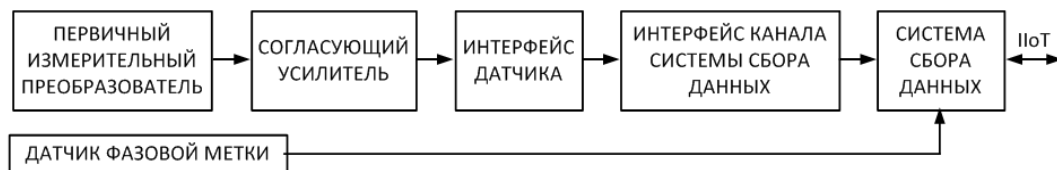


Рис. 3. Структурная схема первичного канала сбора данных

Такие ограничения привели к использованию встроенных в корпус датчика усилителей и интерфейсных схем. Несмотря на усложнение конструкции датчика, использование встроенного усилителя (встроенной электроники) позволяет существенно снизить общую стоимость канала измерения вибрации. Более того, благодаря широкому распространению таких датчиков и значительному увеличению их производства, такие датчики с встроенной электроникой обеспечивают кратное снижение их стоимости по сравнению с пьезоэлектрическими датчиками с зарядовым выходом. Последние в настоящее время используются ограничено для специальных применений, например при измерении вибрации в условиях высоких температур.

В настоящее время разработан ряд решений, ориентированных по созданию специальных схем встраиваемой в датчики электроники, обеспечивающей как преобразование зарядового сигнала, так и интерфейсных решений [4, 5]. Интерфейсные решения обеспечивают передачу вибрационных сигналов от датчика на значительное удаление и могут выполняться как аналоговые и цифровые проводные, а также беспроводные. Системы мониторинга должны выполнять синхронный непрерывный контроль по нескольким каналам в течение длительного времени. Использование в них беспроводных каналов передачи данных на нижнем уровне сбора вибрационных данных носит ограниченный характер. Это связано с асинхронным принципом передачи данных и необходимостью использования мощного источника питания в датчике. Последние видно из сравнительной диаграммы затрат мощности на питание как собственной согласующих электронных схем, так и интерфейсов передачи сигналов. Такие данные представлены на рис. 4.

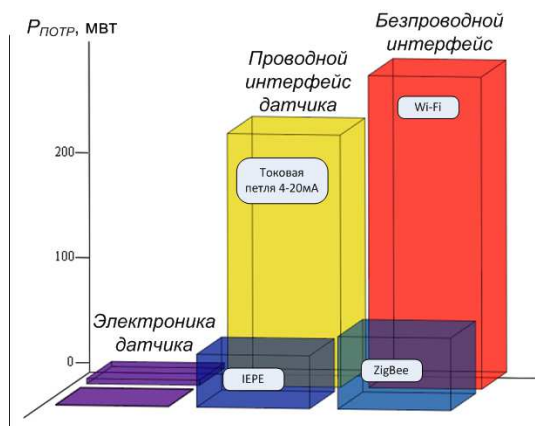


Рис. 4. Сравнение энергозатрат собственного потребления встроенной электроникой датчиков вибрации и интерфейсными элементами системы вибрационного мониторинга

Среди датчиков с встроенной электроникой с аналоговым проводным интерфейсом следует отметить широкое распространение акселерометров с интерфейсом IEPE (ICP, piezotronic, izotronic, и т.д.). Такие интерфейсы де-факто стали стандартом и обеспечивают передачу питания к внутренней электронике датчика и сигнала от датчика по общему двухпроводному кабелю на удалении до 300 метров. Встроенная электроника датчика при этом может быть как очень простой, на основе одного-двух МОП или биполярных транзисторов так и достаточно сложной. Примером простого датчика с интерфейсом IEPE на двух транзисторах может служить решение по патенту RU 2327172, а также решения с реализацией IEPE интерфейса на микромощных операционных усилителях с коррекцией АЧХ представлены в по патенте RU 2399916, а также в [5].

Важным преимуществом IEPE интерфейса является малое число проводов в линии связи для подключения. Это особенно заметно, если используются многокомпонентные датчики с единой общей шиной. Для подключения трехкомпонентного IEPE датчика достаточно четырехпроводной линии связи. Если в датчик вибрации встроен дополнительно датчик температуры, требуется только один дополнительный провод для его подключения. Уменьшение число соединений через линию связи не только снижает ее стоимость, упрощает монтаж и повышает надежность, но также позволяет снизить стоимость, габариты и вес используемых соединителей. Еще большую экономичность линии передачи сигналов

можно обеспечить при последовательном опросе датчиков через коммутатор. Пример такой многоканальной системы для измерения как вибрации, так и температуры с передачей по единому общему проводу и коммутатором приведен в патенте 2401419 и в патенте RU 2684002.

Подавление механического резонанса встраиваемой электроникой

Снизить вероятность перегрузки согласующей электронной схемы высокочастотными составляющими сигнала ускорения можно, если обеспечить переход к сигналу вибрационной скорости в согласующем узле. Такие решения предложены в схемах согласующих усилителей по патенту RU 2370880, патенту RU 2370881 и патенту RU 2370882. Для коррекции подъема АЧХ в области резонанса датчика при выполнении согласующего узла на инструментальном усилителе в качестве согласующего элемента и применением индуктивности для такой коррекции по патенту RU 2382368 или использовать на входе инструментального усилителя RC для ослабления высокочастотных составляющих.

Расширение возможностей датчиков вибрации

Измерение вибрации и температуры одним датчиком очень удобно при построении систем диагностики и защиты. Датчик температуры при этом встраивается в датчик вибрации. При этом датчик вибрации может быть как пьезоэлектрическим IEPE датчиком, так и микроэлектронным датчиком выполненным по интегральной технологии (МЭМС датчиком). Сигнал от датчика температуры при этом передается по дополнительному проводу в линии связи. Данные о температуре могут передаваться и по проводу, используемому для передачи вибрационного сигнала, в виде уровня почти постоянного (зависящего только от температуры) смещения напряжения [6].

Объединение нескольких датчиков одной конструкции является распространенным техническим приемом. Примером может служить конструктивное объединение двух датчиков в общем корпусе – низкочастотного с высокой чувствительностью и высокочастотного на общем основании, закрепленном в точке измерения [7].

Комбинированные датчики могут обеспечивать кроме измерения вибрации, также и измерение температуры. Это обеспечивается если есть близкая к линейной зависимости каких либо параметров пьезодатчика от температуры. Такая зависимость может быть между емкостью пьезоэлемента и температурой [8].

Применение МЭМС датчиков вибрации

Основным преимуществом МЭМС датчиков является их низкая, в большинстве случаев, стоимость. Сам датчик вибрации при этом выполнен в виде микросхемы. Такие датчики могут выгодно отличаться по основным характеристикам от других типов датчиков вибрации [9].

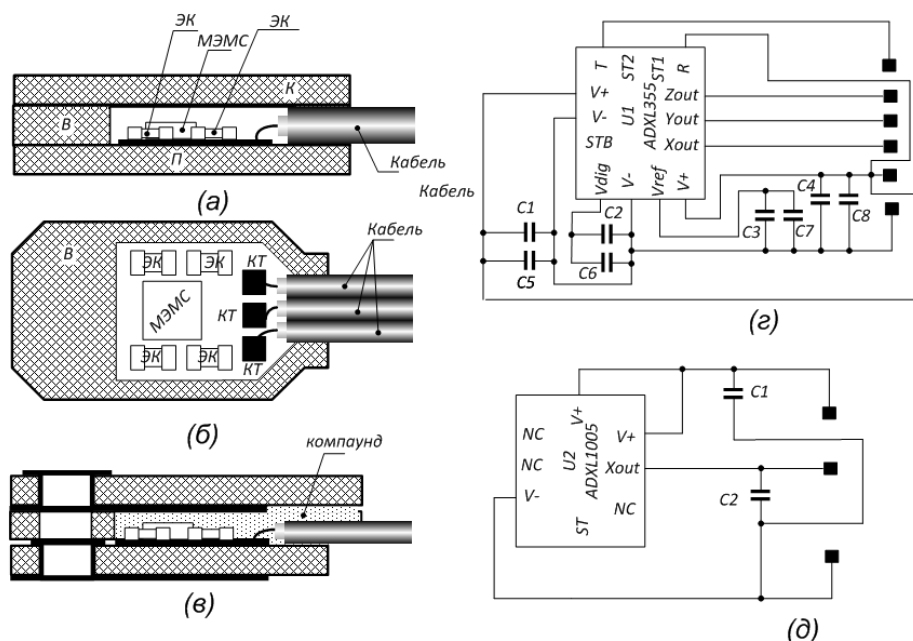


Рис. 5. Бюджетные решения для датчиков вибрации на основе МЭМС интегральных акселерометров

Построение законченного изделия при этом требует дополнения такой МЭМС микросхемы печатной платой, микросхемами интерфейса и формирования вторичного питания и защитного корпуса. Такие дополнения в значительной мере могут снизить экономическую эффективность от применения МЭМС датчика. Повысить экономическую привлекательность использования МЭМС датчика можно, если использовать печатную плату, на которой он установлен, одновременно и как защитный корпус и как электрический экран для защиты от внешних электромагнитных помех. Примеры таких решений по патенту RU 2658565. Такие решения представлены на рис. 5.

Особенностью применения МЭМС датчиков является использование низковольтного питания. Это позволяет существенно снизить энергопотребление, но ограничивает возможности применения простых двухпроводных интерфейсов типа I2C, которые могут быть заменены на низковольтные двухпроводные интерфейсы. Примерами таких решений могут быть низковольтные двухпроводные интерфейсы по патенту RU 2642807, а также по патенту RU 2646311.

Заключение

При оценке возможного влияния резонансов конструктивных элементов на результаты измерения вибрационных составляющих редукторных узлов, учитывая наличие в них составляющих высокой частоты необходимо принимать во внимание и влияние собственных резонансов датчиков вибрации. При этом не рекомендуется выполнять измерения вибрации, если в ней присутствуют частоты выше чем $1/3$ – $1/5$ от частоты собственного резонанса датчика вибрации. Это существенно ограничивает возможность достоверной оценки уровней высокочастотных составляющих вибрации. Частота таких составляющих или их имеющихся гармоник может совпасть с частотой резонанса датчика. Это не только приводит некорректной оценке уровня, но и из-за возможного превышения допустимого уровня сигнала на резонансной частоте сопровождается проявлениями ограничения и насыщения в измерительной цепи. Такие явления, известные как «ski sloope» эффект, порождают ложные низкочастотные составляющие вибрации высокого уровня, искажающие результаты измерения. Вопросы подавления влияния резонансов датчиков рассмотрены, например, в [10]. В настоящее время предложен ряд решений для снижения влияния собственных резонансов основанных как на использовании механических фильтра, так и схемотехнических решений, например за счет использования согласующих усилителей с интегрирующими свойствами. Выпускается ряд датчиков ускорения в которых собственный резонанс не проявляется, например, AC192, WT136, CMSS WIND-100-10. Кроме основного собственного резонанса датчикам вибрации присуще наличие поперечной чувствительности и соответствующей такой чувствительности поперечного резонанса. Частоты f_{TS} такого резонанса обычно существенно ниже частоты собственного резонанса датчика f_s ($f_{TS} \approx 0,3 f_s$). Значительная поперечная чувствительность также ограничивает возможности корректного измерения вибрационных сигналов на опорных элементах редукторов и мультипликаторов. Для предотвращения такого влияния поперечной чувствительности целесообразно использовать при измерениях трехкомпонентные датчики, в которых $f_{TS} \approx f_s$. Кроме того Влияние поперечной чувствительности может быть скомпенсировано при обработке сигналов вибрации или в самих трехкомпонентных датчиках подавлено проявление резонанса, как, например в датчиках AC232 фирмы СТС.

Список использованных источников

1. Датчики: Справочное пособие / Под общ. ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука Москва: Техносфера, 2012. – 624 с.
2. Янчик В. В. Пьезоэлектрические виброизмерительные преобразователи (акселерометры): монография - Ростов-на-Дону: Южный федеральный университет, 2010. – 304 с.
3. Луценко В.И., Косарев О.И. Низкочастотный прецизионный пьезоакселерометр с демпфированным резонансом // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. № 8. 2009. – С.58–60
4. Levinzon F. Piezoelectric accelerometers with integral electronics // Springer , 2015. – 169 p.
5. Stoklásek P. Převodník pro piezoelektrické snímače // Brno university of technology, Brno 2015. – 67 p.
6. Зусман Г.В. Акселерометр с двухпроводным выходом и одновременным измерением вибрации и температуры // XVIII Международная научно-практическая конференция «Энергоресурсосбережение. Диагностика – 2017», 2017. – С.307–310.
7. Янчик В.В., Джения Д.В., Янчик Вл.В. Пьезоэлектрические акселерометры с двумя динамическими и частотными диапазонами // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. Электроника, измерительная и радиотехника. № 3 (27), 2013. – С.127–134.

8. Костюков В.Н., Костюков А.В., Боярников А.В. Многофункциональные датчики на основе пьезокерамики // Динамика систем, механизмов и машин, № 4, 2014. – С.135–138.

9. Скворцов О.Б. Датчики для измерения низкочастотной вибрации // Датчики и системы, № 4, 2017. – С.16–21

10. Vicci L. B&K 4370 Accelerometer and Charge Amplifier // Manual. TR03-002. UNC Chapel Hill. Department of computer science 2003. – 22 p.

ИННОВАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ ВИБРАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА МОЩНОГО РОТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

О.Б. Скворцов^{1,2}, к.т.н.,

¹Институт машиноведения им. А.А. Благонравова РАН, Россия,
101000, Москва, Малый Харитоньевский переулок, д.4, тел. (499)135-81-20,

²Научно-технический центр «Завод балансировочных машин», Россия,
115230, Москва, Варшавское шоссе, 46, тел. (495)120-03-18 доб.152,
E-mail: oleg.b.skvorcov@gmail.com

Аннотация: На примере создания системы вибрационного мониторинга состояния роторного агрегата, рассмотрены вопросы управления структурой и модернизации, как самого агрегата, так и системы мониторинга его состояния на всех этапах жизненного цикла. Представлены рекомендации по организации структуры инновационного модуля сбора данных о динамических вибрационных данных. Перестраиваемая конфигурация модуля обеспечивает расширение частотного и динамического диапазонов анализируемых сигналов, а также повышенную достоверность получения оценок при решении задачи противоаварийной защиты оборудования.

Annotation: On the example of creating a system for vibration monitoring of the state of a rotor unit, the issues of structure management and modernization of both the unit itself and the system for monitoring its condition at all stages of the life cycle are considered. Recommendations for organizing the structure of an innovative module for collecting data on dynamic vibration data are presented. The reconfigurable configuration of the module provides an extension of the frequency and dynamic ranges of the analyzed signals, as well as increased reliability of obtaining estimates when solving the problem of emergency protection of equipment.

Ключевые слова: вибрация, противоаварийная защита, турбоагрегат, усталость, диагностика, прогнозирование, жизненный цикл, стратегия обслуживания, промышленный интернет вещей, модуль сбора данных.

Keyword: vibration, emergency protection, turbine unit, fatigue, diagnostics, forecasting, life cycle, maintenance strategy, industrial internet of things, data collection module.

Введение

Применение вибрационного мониторинга для контроля состояния роторного оборудования в настоящее время является основным инструментом для решения всего круга задач обслуживания такого оборудования на этапах разработки, испытания, пуско-наладочных работ, промышленной эксплуатации и оценки остаточного ресурса [1].

В соответствии с требованиями правил технической эксплуатации энергетического оборудования большой мощности такие агрегаты должны оснащаться системами автоматического вибрационного мониторинга. Такие системы рассчитаны на решение задач диагностики и раннего предупреждения о зарождающихся дефектах и неисправностях, прогнозирования допустимого времени эксплуатации до проведения ремонтного обслуживания, оценки остаточного ресурса оборудования, а также для автоматической противоаварийной защиты при быстром развитии аварийной ситуации для предотвращения значительного ущерба и риска вторичного повреждения оборудования.

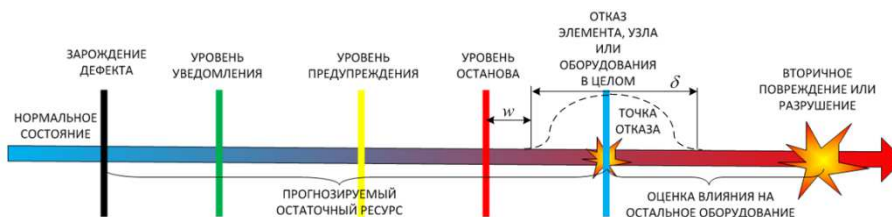


Рис. 1. Этапы образования и развития дефекта в узле машины или механизма

Для предотвращения аварийных ситуаций на энергетическом оборудовании устанавливается система противоаварийной защиты, которая в непрерывном режиме контролирует интенсивность вибрации и должна с высокой достоверностью определять момент приближения аварии, выдавая в систему управления (СУ) сигналы предупреждения или аварийного останова [2]. Обеспечение высокой надежности и достоверности при предотвращении аварии может обеспечиваться использованием методов диагностики, которые позволяют заранее определить зарождение и развитие дефекта, а если это не удастся выполнить оперативно, сформировать сигналы предупреждения или аварии противоаварийной защиты. Задачи оценки состояния агрегата и имеющегося ресурса его эксплуатации с учетом усталости конструктивных элементов решаются средствами прогнозирования в составе системы мониторинга.

Зарождающиеся и развивающиеся дефекты порождают отклик в виде различных физических процессов: вибрация, нагрев, повышенный шум и т.д. На рис. 2 представлен график зависимости скорости развития дефектов и проявлений сопутствующих эффектов в различных диагностических признаках [3]. Обнаружение признаков приближающейся аварийной ситуации фиксируется как превышение допустимых порогов W_1 , W_2 , W_3 по каждому из признаков, что может быть использовано для сигнализации и автоматического останова. Для повышения достоверности принятия решения используется мажоритарное голосование по нескольким признакам.

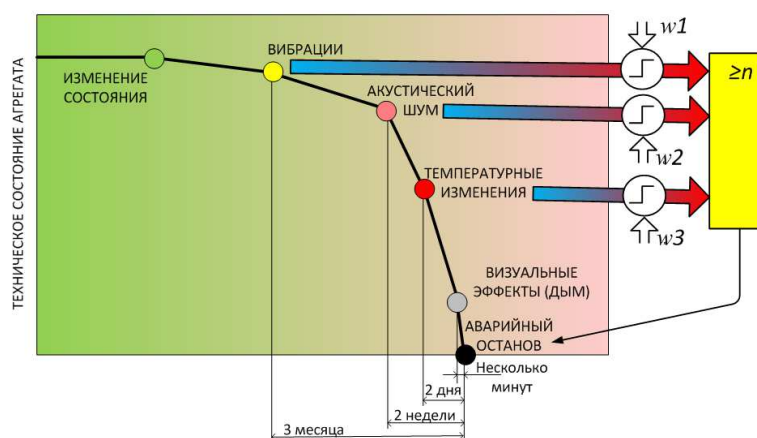


Рис. 2. Эффективность вибрационного контроля при раннем выявлении дефектов в роторном оборудовании

Использование логики защиты для повышения достоверности противоаварийной защиты предполагает использование совпадения сигналов превышения аварийного уровня в близко расположенных точках контроля вибрации или других параметров. Такая идеология построения логики защиты принята в системах вибрационного мониторинга в соответствии с патентами RU 2371695, 2375692, 2376564. Следует отметить, что проявление дефекта может наблюдаться и для разнесенных в пространстве точек контроля вибрации роторного агрегата. Другой метод повышения достоверности работы защиты основан на применении дублирования систем не получил практического распространения из-за необходимости значительного роста оборудования.

Современные нормативные документы по вибрационному мониторингу роторного оборудования ориентированы, в первую очередь на использование оценки текущего значения интенсивности вибрации в качестве диагностического признака. Такие нормативные документы не учитывают процесс влияния вибрации на усталостную прочность конструкционных материалов и конструктивных элементов таких агрегатов [4].

При этом именно вибрационные процессы являются часто причиной возникновения аварийных ситуаций. В литературе имеется ряд примеров аварии по причине вибрационной усталости [5]. Можно привести много примеров, когда вибрация становилась причиной повреждения конструкций, а также отмечена важная роль использования систем вибрационного контроля на технических объектах [6].

Мониторинг вибрации выполняется по данным о перемещении, скорости или ускорения фиксируемых в некоторых точках и направлениях измерения на конструктивных элементах оборудования. Результаты таких измерений для различного представления вибрации не всегда совпадают

и адекватно описывают состояние объекта [7]. В ряде случаев необходимо контролировать сразу несколько видов представления вибрационного процесса.

Управление структурой многоканальной системы вибрационного мониторинга для обеспечения полного использования возможностей современных датчиков вибрации реализуется в решениях по патентам RU 2644620, 2658569, 2658570. Особенностью таких структурных решений является не просто использование коммутатора в каждом из каналов для выбора измеряемой величины ускорения или перемещения, а наличие перекрестных связей между входами каналов, как показано на рис. 3. В результате обеспечивается возможность не только контролировать по всем каналам ускорение или перемещение, но также для каждого из каналов, одновременно и синхронно выполнять анализ и ускорения и перемещения. В этом случае обеспечивается максимально широкополосный по частоте и по динамическому диапазону мониторинг вибрации. Кроме того, такая структурная особенность обеспечивает возможность функционального резервирования, и данные о вибрации по любому из каналов могут быть проверены замерами по другому каналу. Переход при этом от ускорения к перемещению и обратно может быть легко реализован на уровне программного решения двойным интегрированием или дифференцированием. Это не критично, хотя и приводит к несколько меньшей точности оценки, чем при использовании аналогового двойного интегрирования с применением интегрирующего звена второго порядка. Снижение точности при этом не критично, поскольку такая проверка применяется в первую очередь при реализации противоаварийной защиты, которая срабатывает при уже достаточно значительных уровнях сигналов вибрации.

При этом обеспечивается достоверное измерение с высокой точностью как низкочастотной, так и высокочастотной вибрации по выбранным каналам или параллельное синхронное слежение за большим количеством независимых датчиков. Благодаря этому обеспечивается возможность полного использования широкого частотного диапазона современных акселерометров с динамическим диапазоном, превышающим 140-160 дБ. Такая структура позволяет обнаруживать слабые изменения, как в низкочастотных, так и в высокочастотных вибрационных сигналах. Это позволяет выполнять диагностику по зарождающимся дефектам и одновременно получить высокую скорость отклика на быстрые значительные по величине изменения уровня вибрации и повышенную достоверность обнаружения аварийных ситуаций. Существенно, что рассмотренные особенности достигаются изменениями в структурном решении модуля сбора данных, а также изменениями в программе встроенного микроконтроллера без увеличения общего количества входов и электронных элементов, образующих такой модуль.

Пример инновационной структуры системы сбора данных о вибрационном состоянии роторного агрегата приведен на рис. 3.

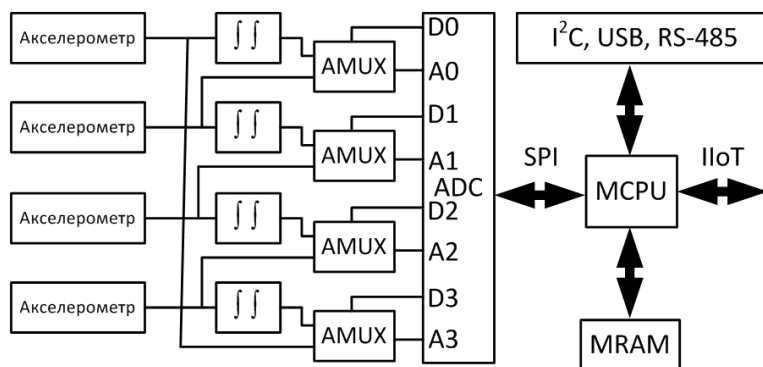


Рис. 3. Структурная схема многоканального модуля сбора данных о вибрационных процессах с расширенными динамическими возможностями. AMUX – аналоговые коммутаторы;

ADC – многоканальный аналого-цифровой преобразователь (ADS1274, ADS1294 и т.п.);

MRAM – энергонезависимая память; MCU (микропроцессор TM4C1294) – микроконтроллер с поддержкой платформы IIoT

Интерфейс обмена данными по IIoT позволяет сохранить результаты мониторинга во внешней базе данных в центре обработки данных, а также удаленно обслуживать и модифицировать алгоритмы сбора и обработки данных о вибрации и других контролируемых параметрах.

Набор дополнительных интерфейсов и аналоговых и цифровых входов у микроконтроллера позволяет контролировать дополнительные датчики (датчики фазовой метки, датчики температуры и т.п.), а также реализовать функции управления, например, частотно-импульсным приводом двигателя, обеспечивающего вращение роторного агрегата.

При использовании встроенного аккумулятора и благодаря применению энергонезависимой памяти такой модуль сбора данных может реализовать функции «черного ящика» в случае возникновения аварийных ситуаций.

Наличие встроенной энергонезависимой памяти на основе MRAM, FROM или твердотельного жесткого диска позволяет для данного оборудования сохранить историю его вибрационных нагрузок и перейти к расчету возможного развития вибрационной усталости. Это особенно актуально для случая гигацикловой (сверхмногоцикловой) усталости материалов в условиях динамических нагрузок при которых происходит образование и развитие дефектов скрытых в глубине материала и не выходящих на поверхность. Такие дефекты практически не проявляются в вибрационных процессах до момента начала быстрого процесса разрушения, на который система противоаварийной защиты должна успеть сработать для предотвращения катастрофических последствий.

Рассмотренный пример показывает возможность построения систем мониторинга с новыми расширенными возможностями. В качестве примера возможного применения можно рассмотреть средства мониторинга, используемые при эксплуатации гидроагрегатов. Агрегат гидроэлектростанции обычно имеет сравнительно низкие оборотные скорости, Частота оборотов может быть при этом ниже одного герца. Такие частоты, а также кратные им, имеют и вибрационные сигналы, воспринимаемые системой мониторинга агрегата. При этом работа гидроагрегата связана также с проявлением различного вида процессов кавитации. Такие процессы могут порождать как очень низкочастотные (ниже частоты вращения для жгутовой кавитации), среднечастотные (сотни герц для кавитации в виде вихрей Кармана), а также высокочастотные (выше десяти килогерц для пузырьковой кавитации) вибрации. Для решения задач обслуживания и обоснованного продления ресурса таких турбин [8] необходимо использование эффективных средств мониторинга на всех этапах их жизненного цикла.

Широкий частотный и большой динамический диапазон также типичен для роторного оборудования, в котором используются элементы зубчатых передач, а также подшипники качения, что делает вопрос использования адаптивных многоканальных модулей сбора данных о вибрации актуальным для такого оборудования.

Результаты

Рассмотренный пример адаптации структуры (рис. 3) показывает, что можно существенно расширить возможности средств мониторинга без увеличения затрат на них. В более общем случае, как проект на разрабатываемый и выпускаемый агрегат, так и входящие в его состав система управления, а также подсистема вибрационного мониторинга, разрабатываются, используются и модернизируются на всех этапах жизненного цикла изделия. В настоящее время происходит быстрое появление новых инновационных решений, обновлений программного обеспечения (ПО), а также смена номенклатуры доступных комплектующих элементов. Система предполагает возможность внесения таких изменений на всех этапах жизненного цикла. Возможность простого внесения таких изменений желательна в случае необходимости корректировки конструкции в соответствии с изменениями требований заказчиков.

Структура процесса создания и эксплуатации изделия с его жизненным циклом с учетом возможности оперативного внесения новаций на всех этапах и модернизации в процессе эксплуатации представлена на рис. 4. Возникающие на протяжении жизненного цикла новации можно разделить на те, которые требуют внесения изменений в конструкцию и те, которые могут быть реализованы за счет внесения изменений в ПО.

Накапливаемые в системе мониторинга данные также используются как для внесения корректировок в проектные решения, используемые при выпуске новых экземпляров техники, так и для адаптации режима эксплуатации оборудования. Например, возможно снижение нагрузки для понижения уровня интенсивности вибрации на интервале времени до начала ремонта. Такие данные также могут быть использованы для выбора стратегии обслуживания на разных этапах жизненного цикла. Возможен, например, переход от планово-предупредительного режима на этапе опытной эксплуатации к обслуживанию по оценке фактического состояния, а также переход к другим стратегиям обслуживания при приближении срока вывода оборудования из эксплуатации.

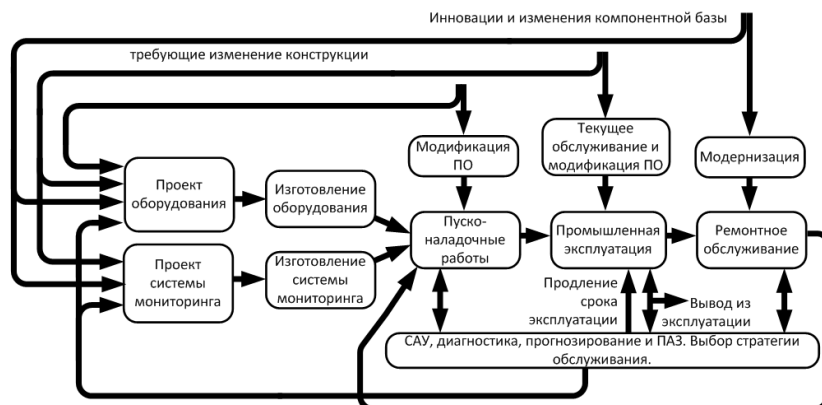


Рис. 4. Структура системы управления жизненным циклом механического оборудования с системой вибрационного мониторинга

Заключение.

Рассмотренный пример показывает возможность создания бюджетных решений по системе вибрационного мониторинга различного энергетического оборудования. Такая система может модифицироваться и модернизироваться на протяжении длительного периода эксплуатации такого оборудования. Предлагаемые решения обеспечивают расширение функциональности и улучшение технических характеристик в условиях постоянного появления таких новаций, как использование промышленного интернета вещей или искусственного интеллекта [9]. Заложенные в структуру возможности модернизации и внесения изменений, связанных с сравнительно быстрой заменой номенклатуры выпускаемых комплектующих позволяют адаптировать средства мониторинга не только в процессе длительной эксплуатации, но и к специфике выполнения функций мониторинга на всех этапах жизненного цикла продукции. Работу системы можно модифицировать при смене стратегий обслуживания и возможных условий эксплуатации, в том числе и в условиях эксплуатации без обслуживания с передачей информации в центры обработки данных, а также обеспечить работу режиме «черного ящика» в условиях эксплуатации оборудования без обслуживания до отказа и срабатывания защитного отключения.

Список использованных источников

1. Tiwari R. Rotor systems: analysis and identification // Taylor & Francis Group, LLC, 2018. - 1091 p.
2. СО 34.35.105-2002. Методические указания по оснащению техническими средствами технологической защиты при повышении вибрации турбоагрегата // СПО ОРГРЭС, М.: 2003. – 35 с.
3. Henríquez, P. Alonso J.B., Ferrer M.A. and Travieso C.M. Review of automatic fault diagnosis systems using audio and vibration signals // IEEE transactions on systems, man, and cybernetics: systems. 2014. - 12 с.
4. Рунов Б.Т. Исследование и устранение вибрации паровых турбоагрегатов // Машиностроение, М.: 1982. – 352 с.
5. Смирнов А.Н., Быкова Н.В., Абабков Н.В., Фенстер Б.Р. Анализ повреждаемости роторов паровых турбин (обзор) // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2014. – С.38–46.
6. Леденёв, В.В. Аварии, разрушения и повреждения. Причины, последствия и предупреждения : монография / В.В. Леденёв, В.И. Скрылёв. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2017. – 440 с.
7. Скворцов О.Б. Вибрационный мониторинг и прочность конструктивных элементов с учетом инерционных свойств материалов при воздействии широкополосной вибрации // Инженерный журнал: наука и инновации, № 6, 2020. – 17 с
8. Георгиевская Е.В. Методология оценки и принципы управления ресурсом гидротурбин в условиях фактической эксплуатации : монография. – СПб.: Астерион, 2019. – 80 с.
9. Skvortsov O.B. and Pravotorova E.A. Vibration monitoring systems for power equipment as an analogue of an artificial neural network // Advances in Intelligent Systems, Computer Science and Digital Economics. Springer. 2020. – P.145–153.

АВИАЦИОННЫЕ СПАСАТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

П.В. Родионов, к. пед. н., старший преподаватель,

Ы. Д. Байзакова, студент группы 17Г91,

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-64)

E-mail: rodik-1972@yandex.ru

Аннотация: В статье предоставлен материал о планировании, организации и проведении работ по мониторингу и разведке зоны чрезвычайной ситуации с помощью авиационных средств. Также в статье определен порядок взаимодействия авиационных средств различной модификации и тактико-технических характеристик в ходе мониторинга ситуации.

Abstract: The article provides material on planning, organizing and carrying out work on monitoring and reconnaissance of the emergency zone using aircraft. Also, the article defines the order of interaction of aircraft of various modifications and tactical and technical characteristics during monitoring of the situation.

Ключевые слова: Авиация, беспилотные летательные аппараты, мониторинг, разведка, поисковые и спасательные работы, тактико-технические характеристики.

Keywords: Aviation, unmanned aerial vehicles, monitoring, reconnaissance, search and rescue operations, tactical and technical characteristics.

Человек всегда мечтал покорить небо, и эта идея привела к созданию летательных аппаратов. Вскоре научное изучение данной отрасли получило название – авиация. Летательные аппараты совершенствовались вместе с научно-техническим прогрессом. В настоящее время летательные аппараты обладают всеми характеристиками, которые дают нам возможность перемещаться, минуя сушу и море. При чрезвычайных ситуациях, время играет очень важную роль, авиационные спасательные средства могут обеспечить мобильную перевозку сил и средств в зону чрезвычайных ситуаций, а также их эвакуацию оттуда. Неоценимый вклад при проведении мероприятий ликвидации чрезвычайных ситуаций вносят авиационные аппараты различных модификаций и характеристик при проведении разведки, мониторинга и эвакуации пострадавшего населения и материальных и исторических ценностей.

Авиационные средства спасения эффективно выполняют множество задач, главными из которых являются:

1. поиск: наиболее эффективными средствами для проведения поиска являются самолеты, которые способны немедленно прибыть в отдаленные районы и обследовать площади с большей вероятностью обнаружения цели; вертолеты также являются хорошим средством для проведения поиска, однако из-за ограниченной дальности полета они могут осуществлять поиск только в относительно небольших районах;
2. оказание помощи: в связи с тем, что авиационные спасательные средства имеют высокую скорость и грузоподъемность, то они могут доставить спасательные формирования, аварийное снабжение, медицинский персонал к месту чрезвычайных ситуаций;
3. эвакуация: вертолеты являются наилучшим средством для эвакуации потерпевших с места чрезвычайных ситуаций;

Важным преимуществом данных средств спасения является их многофункциональность. Они могут выполнять поиск, оказание помощи и эвакуацию после проведения незначительного переоборудования. Также не стоит забывать о том, что их многофункциональность ограничена. При эксплуатации авиационного спасательного средства следует учитывать его технические ограничения и обеспечить безопасность полетов.

Для проведения визуального поиска наиболее эффективны летательные аппараты с малой скоростью полета. Скорость таких аппаратов не превышает 100–150 километров в час., так как при больших скоростях полета можно легко упустить из виду малые или частично скрытые цели, так же при малой скорости, у разведывательной группы имеется возможность снизить высоту и исследовать площадь с близкого расстояния. Визуальный поиск будет наиболее эффективным, если у летального аппарата малая скорость и высота полета.

Для радиопоиска и наведения на сигналы бедствия, а также для облета большого района поиска эффективно применять скоростные летательные аппараты. Совместный облет скоростных и малоскоростных летательных аппаратов, летающих на меньшей высоте, является результативным и целесообразным при поисковых работах в морских районах.

Для выполнения задач по аварийно-спасательным работам летательные аппараты должны обладать следующими характеристиками:

1. обеспечение безопасного полета на малой скорости и малой высоте;
2. обладать коротким пробегом при взлете и посадке;
3. дальность обзора и связи, должна быть достаточной для охвата всего района с учетом размещения аэродромов;
4. обладать высокой маневренностью;
5. грузоподъемность;
6. надлежащим оснащением для проведения поисковых и аварийно-спасательных работ.

При возможности посадки и взлета самолета вблизи места бедствия, то можно значительно ускорить снабжение спасательных формирований или доставку сил для проведения аварийно-спасательных работ (далее – АСР). Так же самолеты можно использовать для существенного сокращения времени, необходимого для спасения пострадавших.

Одной из основных проблем проведения поисковых и аварийно-спасательных работ на внутренних и внешних акваториях является сложность проведения этих работ при нестабильных водных условиях. В связи с вышесказанным применение различных модификаций авиационных аппаратов необходимо и эффективно при спасении и эвакуации пострадавших с поверхности гидросферы.

Одним из эффективных средств спасения на воде являются – гидросамолеты, которые могут использоваться практически для всех мероприятий, выполняемых при АСР на воде. При небольших волнениях вод, они могут совершить посадку на водоем и дать возможность спасателям тщательно обследовать место бедствия – провести разведку. Если при ликвидации чрезвычайной ситуации или поиске благоприятные метеорологические условия и умеренное состояние моря их можно использовать для проведения работ на прибрежных участках морей и океанов или крупных внутренних водоемов. Для проведения спасательных работ на морях и океанах используются гидросамолеты способные выдерживать сильное волнение.

Самолеты амфибии сочетают в себе преимущества наземного и морского самолета (гидросамолета). Однако увеличенная масса из-за тяжелого корпуса и шасси уменьшает дальность полета, ограничивает маневренность на воде и возможности приводнения и взлета.

При проведении поисковых и спасательных работ вертолеты эффективны для ведения разведки и поиска пострадавших, так как имеют малую скорость и высокую маневренность. Недостатком является меньшая дальность полета, по сравнению с самолетами. Данный вид воздушного транспорта отлично справляется с эвакуацией личного состава или пострадавших с очага поражения (зоны чрезвычайной ситуации). Также для повышения эффективности проводимых аварийно-спасательных работ вертолеты оборудуются спасательными подъемниками и медицинскими снаряжениями для оказания первой медицинской помощи.

Авиационные спасательные средства дальнего действия применяются для проведения АСР в океанских участках, поэтому их оборудуют усовершенствованными навигационными средствами, модернизированными приборами для обнаружения сигналов о бедствии и наведении на них. Данные авиационные средства также используются для проведения мероприятий общей эвакуации, где необходима большая вместимость воздушных транспортных средств для эвакуации большой численности населения или переброски в район чрезвычайной ситуации большого количества спасателей и крупногабаритной техники.

На самолетах ближнего действия, в большинстве случаев, устанавливают обычное навигационное оборудование. Данные летательные аппараты проводят поисковые и аварийно-спасательные работы в незначительных по масштабу районах, обычно хорошо знакомых пилотам, и они не удаляются на большие расстояния от своих баз. Данные самолеты могут использоваться для разведки местности, поиска потерявшихся людей, проведения мероприятий по ликвидации эпидемий, эпизоотий, эпизоотий.

Включение беспилотных летательных аппаратов в состав сил и средств, направленных на ликвидацию ЧС также может принести много пользы. Беспилотники способны заменить самолеты и вертолеты при проведении операций с высоким риском для жизни экипажа и исключить потерю дорогостоящих пилотируемых авиационных средств. Иногда такие аппараты могут стать просто незаменимыми при проведении поисково-спасательных операций на суше и море. Поиск может проводиться по заранее введенному полетному заданию, которое также может быть всегда скорректировано оператором. Помимо этого, дроны могут быть использованы при доставке необходимых медикаментов в зоны ЧС, тем самым спасая жизнь многим людям.

Выводы:

1. В связи выше изложенным можно сказать, что авиационные спасательные средства многофункциональны и обладают многими полезными и эффективными характеристиками, которые в определенных ситуациях, необходимы для проведения поиска, оказания помощи и эвакуации пострадавших. К существенным недостаткам авиационных спасательных средств относится ограниченность их действий при относительно плохих погодных условиях.
2. Внедрение дронов в структуры МЧС России находится сейчас на особом контроле. При этом отдельно стоит отметить ряд сложностей распространения подобных беспилотных систем. Одна из них связана с интеграцией беспилотных летательных аппаратов в систему воздушного движения – все используемые беспилотники не должны препятствовать перемещению пилотируемой авиационной техники как гражданского, так и военного назначения.
3. Использование пилотной и беспилотной авиации в интересах МЧС России является неотъемлемой частью проведения поисковых и аварийно-спасательных и других неотложных работ и находится на особом контроле у руководства МЧС России.

Список используемых источников:

1. История изобретения самолетов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.phisiki.com/2012-02-28-10-51-54/95-istoriya-isobreteniya-samoleta>. Дата обращения: 16.03.2021 г.
2. Бесекерский Е.Г., Понов В.А. «Военное образование». – 4-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Профессия, 2013. – 747 с.
3. Анхимюк В.Л., Олейков О.Ф., Михеева Н.Н. «Спасательные вертолеты». – М.: Дизайн ПРО, 2012. – 352 с.
4. Гудинов Г.К., С.Ф. Гебер, М.Э. Альдаков «Ликвидация чрезвычайной ситуация на акватории »; пер. с англ. - М.: БИНОМ, Лаборатория знаний, 2011. – 911 с.

**ОРГАНИЗАЦИЯ И ПРОВЕДЕНИЕ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ РАБОТ
ПРИ ДТП С УЧАСТИЕМ ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА**

*П.В. Родионов старший преподаватель, К.О. Богомолов, студент группы 3-17Г81
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: rodik-1972@yandex.ru*

Аннотация: В статье описывается организация и проведение АСР при ДТП с участием общественного транспорта, рассматриваются действия спасателей в различных вариантах происшествия, описываются последовательность, и способы выполнения работ.

Abstract: The article describes the organization and conduct of ASR in an accident involving public transport, examines the actions of rescuers in various versions of the incident, and describes the sequence and methods of performing the work.

Ключевые слова: аварийно-спасательные работы, дорожно-транспортное происшествие, пострадавшие, транспортные средства, способы деблокирования.

Keywords: rescue work, road accident, injured, vehicles, unblocking methods.

Аварийно-спасательные работы (далее – АСР) при ликвидации последствий дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) характеризуются наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей, и требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения.

Перед началом АСР проводится первичный осмотр места аварии, в ходе которого оценивается обстановка и определяются следующие данные:

- количество транспортных средств
- количество пострадавших
- есть ли, заблокированы пострадавшие
- опасные ситуации или материалы утечка топлива или других жидкостей, которые используются в транспортном средстве, риск возникновения пожара.
- безопасная рабочая среда: опасность для спасателей; опасность для пострадавших; опасность для других участников дорожного движения и случайных прохожих.
- тип автобуса, конструктивные особенности автобуса. Устойчивость автобуса на дороге 1 (стабильная, не стабильная, перевернутая).

Необходимо провести осмотр территории вокруг места аварии с целью выявления пострадавших, выпавших из автобуса, находящихся под автобусом, или лиц в шоковом состоянии, самостоятельно покинувших место аварии.

Выключите двигатель

Метод 1. У некоторых автобусов нет ключа зажигания, но на приборной панели есть кнопка выключения двигателя. При отсутствии доступа в кабину из-за ее деформации в результате аварии кнопка аварийного отключения двигателя находится на задней стенке кузова (в моторном отсеке, за люком бензобака).

Метод 2. Перекрыть подачу воздуха (для дизельных двигателей)

Закрытие воздухозаборника плотным герметичным материалом приводит к уменьшению подачи кислорода, снижению давления и остановке двигателя. Вы также можете использовать углекислотный огнетушитель. CO₂ заменяет кислород, необходимый для сжигания топливовоздушной смеси, и двигатель останавливается.

Метод 3. На автобусах (газовых, бензиновых) в кабине водителя устанавливается аварийный выключатель, предназначенный для быстрой остановки двигателя, активации устройств остановки подачи топлива, отключения аккумуляторов и включения сигнализации.

Метод 4. Для автобусов, работающих на газе, отключите подачу газа. Запорный клапан обычно расположен на коробке передач

Метод 5. В автобусе на дизельном топливе есть электромагнитный клапан выключения питания, следовательно можно запустить аварийное выключения двигателя. Если нет, то аварийный рычаг устанавливается в кабине. В современных автобусах батареи включаются и выключаются с помощью массовых переключателей.

Выключатель АКБ расположен в аккумуляторном отсеке и имеет управление из кабины водителя (кнопка на приборной панели) и из моторного отсека автобуса (кнопка на панели выключателя). 100% гарантией отключения питания в транспорте будет снятие клемм с аккумулятора. Если в транспорте установлены два или более АКБ, то при снятии клемм необходимо учитывать схему подключения (последовательная схема подключения/параллельная схема подключения). При параллельном подключении снятие клеммы с одной батареи не приводит к обесточиванию автомобиля. Начните отсоединять аккумулятор от отрицательной клеммы, чтобы не допустить короткого замыкания на корпусе машины.

Разбитый корпус батареи в результате аварии не является признаком отключения питания, самый верный способ снять клеммы с АКБ. Прежде чем отсоединить аккумулятор, нужно использовать все возможности для облегчения извлечения с помощью устройств, требующих электроэнергии: опустить окна, открыть двери и т. д. После того как батарея будет выключена, внутреннее освещение больше не будет функционировать. Избегайте паники пассажиров, установите дополнительное освещение.

Порядок стабилизации транспортного средства:

Если у вас есть доступ в кабину, вы должны использовать систему стояночного тормоза. Стояночная тормозная система обеспечивает торможение неподвижного автобуса, в том числе на уклоне и в отсутствие водителя, а также за торможение движущегося автобуса. Если в тормозной системе нет воздуха, колеса автоматически блокируются. При стабилизации необходимо учитывать массу транспортного средства. Снаряженная масса автобуса определяется как масса полностью заправленного автобуса (топливо, масло, охлаждающая жидкость и т. д.) и оснащение запасным колесом, инструменты и т. д., но без груза или пассажиров, водителя, другого обслуживающего персонала и их багажа.

Общая масса автомобиля складывается из снаряженной массы, массы груза (в соответствии с грузоподъемностью) или пассажиров, водителя или другого обслуживающего персонала.

Способы стабилизации зависят от положения шины относительно плоскости дороги.

Автобус стоит на колесах

1. Установка клиньев по колеса автобуса.

Не рекомендуется выпускать воздух из-под колес автобуса, так как при необходимости будет трудно передвигать автобус без специального оборудования. Если автобус оснащен пневматической системой регулирования расстояния от рамы до дорожного полотна. Система позволяет опускать раму и поднимать ее. В случае сбоя системы рама может произвольно упасть. Нельзя находиться под автобусом до тех пор, пока рама не стабилизируется и не исключается ее неконтролируемое опускание. В качестве точек для стабилизации кузова автобуса можно использовать силовые элементы кузова (рамы) и крепления опор.

Варианты стабилизации автобуса, стоящего на колесах.

В боковой панели под окном в местах прохождения ребер жесткости делают отверстия для стабилизирующих стоек.

Стабилизация автобуса при наличии багажного отделения

1. Убрать багаж из багажного отделения.
2. Стабилизирующими подставками (клинья) заполнить багажное отделение для стабилизации конструкции автобуса.

Автобус лежит на крыше.

В положении «на крыше» автобус может быть нестабилен, т.к. центр тяжести смещен вверх. В зависимости от положения машины необходимо установить опоры(крепи, растяжки) в четырех или шести точках.

Другое нестабильное положение

Стабилизация с помощью тросов, закрепленных за АСА.

Если транспортное средство расположено на наклонной или неровной поверхности, такой как дорожная насыпь, транспортное средство может быть закреплено петлевой стропой в сочетании с передвижным краном, в зависимости от ситуации.

Подходящими точками строповки являются: кулачковая муфта в передней части автобуса, расположенная под крышкой в центральной части бампера; кулачковая муфта в задней части автобуса, расположенная под крышкой в центральной части бампера под номерным знаком; пневматическая опора ведущего моста, пневматический упругий элемент.

Обеспечение доступа в салон автобуса.

Следующим этапом разблокировки после стабилизации автобуса является обеспечение доступа в пассажирский салон. Самый простой путь – через двери, окна или аварийные выходы, расположенные на самой крыше. Спасатели должны убедиться, что нет пострадавших в багажном отделении, в спальном отсеке и в туалетах, если автобус оборудован таковыми.

Доступ через двери. Предусмотрено пневматическое открывание каждой двери в аварийной ситуации изнутри автомобиля с помощью кнопки на дверях или боковых дверях (на электропневматическом приводном механизме). Для аварийного открывания дверей снаружи имеются электрические кнопки управления, расположенные рядом с дверями на внешней стороне корпуса. При нажатии кнопки (поворотом ручки) электропневматический распределитель направляет сжатый воздух в соответствующую полость пневмоцилиндра и дверь открывается. Если есть доступ в кабину водителя, дверь можно открыть с помощью кнопок на приборной панели.

Если двери не могут быть открыты вышеуказанными способами:

1. В случае падения давления в пневматической системе легко открыть дверь вручную, а затем зафиксировать ее клиньями или аналогичными устройствами.
2. Открыть двери ломом.
3. Откройте дверные шторы с помощью спредер и зафиксируйте их клиньями или аналогичными устройствами.

Доступ через аварийный выход.

Аварийный выход – аварийная дверь, аварийное окно или аварийный люк. Аварийное окно – окно, предназначенное для использования пассажирами в качестве выхода только в случае опасности. Аварийный люк – люк в крыше, предназначенный для использования пассажирами в качестве выхода только в случае опасности. При однодверном варианте, запасным выходом считается задняя запасная дверь боковины.

Запасная дверь при нормальной эксплуатации должна быть закрыта и замок должен быть заблокирован. В аварийной ситуации для открывания двери изнутри необходимо (находясь перед дверью) поднять фиксатор замка с правой стороны двери, потянуть ручку замка на себя и толкнуть дверь. Снаружи замок разблокируется только при помощи ключа, затем дверь открывается вручную путем нажатия кнопки на ручке. Запертая снаружи дверь всегда может быть разблокирована изнутри.

С целью обеспечения открывания запасной двери снаружи, ключ расположен на двери водителя и заклеен табличкой. Второй ключ должен находиться в связке с ключом зажигания.

Порядок увеличения дверного проема.

1. Открыть дверь.
2. Снять дверь, устранив шарниры и другие соединения.
3. Удалить стекла в правом и левом окне от двери.
4. Срезать стойки между дверью и окном, образовав большой проем.

При работах не допустить утечку хладагента, хладагент опасен для легких.

Увеличение оконного проема. Для увеличения оконного проема необходимо удалить остекление двух соседних окон. Затем удалить стойку между двумя окнами. Не удаляйте все стойки во избежание деформации и прогиба крыши. Следует изолировать острые осколки и края.

Вскрытие бортовой стенки автобуса. Боковая сторона состоит из усиленных стержней каркаса, пространство между которыми может быть заполнено теплоизолирующим материалом. В стенках автобуса проходят кабели электроснабжения, в туристических автобусах может быть вмонтировано дополнительное отопление вдоль всей боковой стены. Для создания бокового проема необходимо: удалить окно; разрезать раму окна вниз, перерезая элементы рамы и усиливающие конструкции; разрезать металл вниз, отогнуть его вниз или удалить; установить защиту на острые края. При создании проема нарушается конструкция автобуса, что приводит к ослаблению общего каркаса, подвижкам конструкции.

Необходимо постоянно контролировать и при необходимости корректировать стабилизацию автобуса.

Проникновение в сочлененный автобус. Сочлененный автобус – автобус, состоящий из двух и более жестких, шарнирно соединенных между собой секций. Секции соединяются между собой с помощью шарнирного соединения, которое является «проводником» бортовых коммуникаций. Электрические и пневматические магистрали, как правило, прокладываются под крышей или монтируются в боковинах. «Тканевая» межсекционная гофра изготовлена из гибкого синтетического материала с алюминиевой окантовкой в складках. Не резать гофру в местах прохождения электрокоммуникаций.

Проникновение через крышу. При опрокидывании автобуса на бок, когда двери заблокированы, единственными путями проникновения являются лобовое и заднее окно, а также крыша. На крышах автобуса установлены аварийные люки. Например, в автобусе типа ПАЗ аварийно-вентиляционный люк расположен в средней части крыши кузова. Изнутри и снаружи люк открывается путем поворота ручки более чем на четверть оборота в любую сторону, после чего люк может быть открыт. Полностью от кузова люк не отделяется. Если аварийный люк невозможно открыть механизмом открывания, можно открыть доступным аварийно-спасательным инструментом. Люки на крыше эвакуации узкие (50 × 80 см), эвакуировать пострадавшего из автобуса на носилках очень трудно. Поэтому необходимо увеличить размеры проема или создать новый проем. Наиболее подходящим инструментом для вскрытия крыши является сабельная электропила. Крыша автобуса состоит из: наружного слоя железа; ребра жесткости; теплоизоляции; внутренний слой железа; внутренняя обшивка. Операцию по вскрытию крыши необходимо контролировать внутри автобуса, чтобы не нанести дополнительных травм пострадавшим, находящимся рядом с местом разреза.

Извлечение пострадавших из салона автобуса. После обеспечения доступа в салон, спасатели смогут приступить к спасению пострадавших. Одной из главных целей действий спасателей внутри салона автобуса является обеспечение полного доступа к пострадавшим, путей извлечения и транспортировки пострадавших на носилках с места ДТП.

Автобус стоит на колесах. Для облегчения эвакуации может срезать сиденья и поручни около выходов для того, чтобы обеспечить больше места для маневра носилок.

Эвакуация через рабочий проем в борте автобуса. С внутренней стороны почти вплотную к стене находятся пассажирские сиденья. С одной стороны, это осложняет создание бокового проема. С другой – пострадавшего с тяжелыми травмами можно эвакуировать из салона вместе с пассажирским сиденьем (заранее демонтировав сиденье от пола), избегая дополнительных повреждений пострадавшего.

Лобовое, заднее стекла, люк на крыше, увеличенные с помощью специального оборудования, являются лучшими эвакуационными выходами. В некоторых случаях, оптимально будет перекусить стойки и отогнуть крышу автобуса, используя лебедку. Тем самым, обеспечив, максимальный доступ в салон автобуса. Для перемещения в салоне и для транспортировки пострадавших можно использовать спинальные щиты или аналогичное оборудование.

Во избежание травмирования спасателей при передвижении по остеклению или проваливания сквозь разбитое стекло (пример, если автобус завис боковыми стеклами над рекой), можно использовать спинальные щиты в качестве настила.

При транспортировке пострадавших на спинальных щитах используются элементы интерьера салона автобуса (боковушки сидений, багажная полка). При транспортировке пострадавших работать синхронно по команде старшего группы. Люди, которые застревают в ремнях безопасности – это особая проблема. При подвешивании на ремнях безопасности сдавливаются шея, крупные сосуды и жизненно важные органы. Если человек долгое время находился в подвешенном состоянии, он может потерять сознание или умереть из-за нарушения венозного оттока из головного мозга, а также

в результате острой легочно-сердечной недостаточности. При извлечении пассажира спасатели должны относиться к пострадавшему очень осторожно, так как после освобождения от ремней безопасности пострадавший может умереть из-за неспособности сердца справиться с усиленным притоком крови. После извлечения пострадавший должен находиться на носилках, полусидя. Эту информацию следует учитывать при определении приоритета эвакуации пострадавших из салона. Если сразу эвакуировать таких пострадавших не представляется возможным, можно облегчить их состояние, зафиксировав положение спинальными щитами или аналогичным оборудованием.

Автобус лежит на крыше.

Риски: При переворачивании транспорта в разы возрастает опасность утечки горючего. Порядок действий:

1. Закрепление лебедки за передний мост и задний мост. Подъем и фиксация аварийного автобуса.
2. Перекусывание стоек рядом с крышей автобуса.
3. Подъем автобуса с помощью лебедки.
4. Установка автобуса на стабилизационные стойки.
5. Эвакуация пострадавших.

Операции по подъему автобуса. Перед подъемом автобуса необходимо оценить вес автобуса. От этого зависит, какие средства подъема и какой подъемной мощности вы сможете применить. Нагрузка на подъемные механизмы не должна превышать их грузоподъемность.

При возникновении пожара в автобусе. Поражающие факторы пожара в автобусе: открытый огонь; высокая температура; продукты горения. Пожар в салоне автобуса может быть определен по факту появления открытого огня, дыма, запаха горящих материалов, а также по нагреву корпуса (перегородок, перекрытий) салона, видимому изменению их внешнего вида, резкому повышению температуры воздуха в салоне. Для предотвращения возгорания перед началом АСР приводятся в готовность средства пожаротушения. Для предотвращения загорания автобуса от поврежденной электропроводки необходимо: отключить аккумуляторную батарею.

Жизнь и здоровье пострадавших в ДТП во многом зависит от качества проводимой АСР и от уровня взаимодействия между силами, участвующими в спасательных работах: подразделениями МВД, поисково-спасательными формированиями, медицинскими службами и возможными в частных случаях службами обеспечения. Большое значение имеют степень квалификации спасателей, наличие необходимых ресурсов, применяемые спасательные технологии.

Список используемых источников:

1. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа – <https://fireman.club/conspects/provedenie-avariynospasatelnykh-rabot-pri-dorozhno-transportnykh-proisshestviyah-tema-2/> (дата обращения: 23.01.2021).
2. [Электронный ресурс] URL: Режим доступа - <https://legalacts.ru/doc/rukovodstvo-po-vedeniiu-avariynospasatelnykh-rabot-pri-likvidatsii-posledstviy-dorozhno-transportnykh/> (дата обращения: 23.01.2021).

РЕШЕНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ НА ПРИМЕРЕ МИКРОРАЙОНА СОЛНЕЧНЫЙ В ГОРОДЕ ТОМСК

О.А. Бычков, к. г.-м.н., доцент

Томский государственный архитектурно-строительный университет

634003 г. Томск, пл. Соляная 2, тел. (3822) 65-28-24

Email: jarilo1962@yandex.ru

Аннотация: Рассмотрены геоэкологические условия, природные и техногенные факторы развития опасных процессов на территории микрорайона Солнечный г. Томска и их влияние на инженерные сооружения. Приведены причины и закономерности развития опасных процессов, решения по инженерной защите.

Abstract: The geoeological conditions and natural and technogenic factors of the development of hazardous processes are considered on the territory of the Solnechny microdistrict in the city of Tomsk and their influence on engineering structures. The reasons and patterns of the development of hazardous processes, solutions are given for engineering protection.

Ключевые слова: геоэкологические условия, факторы развития опасных процессов, инженерная защита, зонирование территорий.

Keyword: geoeological conditions, factors of development of hazardous processes, engineering protection, zoning of territories.

Одним из главных признаков процесса урбанизации является интенсификация городского строительства. Потребность в увеличении жилых площадей приводит к так называемой уплотняющей застройке и использованию территорий неблагоприятных в геоэкологическом отношении, где могут проявляться опасные геологические процессы и явления: оползни, подтопление, суффозия, эрозия и пр. Нередко эти процессы активизируются в результате строительного освоения городских территорий, приводят к нарушению устойчивости сооружений и, по сути, являются техноприродными. На сегодняшний день следует исходить из того, что любая урбанизованная территория подвержена природному риску, под которым понимается вероятностная мера проявления того или иного опасного техноприродного процесса или их совокупности, определяемая в виде возможных потерь (ущерба) за заданное время. По мнению В.И. Осипова [5] не существует абсолютной безопасности зданий и сооружений (концепция нулевого риска). Современная стратегия природных рисков при градостроении должна основываться на идее допустимого риска, где важная роль принадлежит мероприятиям по инженерной защите территорий, позволяющим бороться не с последствиями проявления техноприродных процессов, а управлять природными рисками, снижая их до допустимого уровня.

Даная стратегия в течение длительного времени реализуется кафедрой инженерной геологии мостов и сооружений на дорогах ТГАСУ под руководством доктора геолого-минералогических наук, профессора В.Е. Ольховатенко. На основе выполненных многолетних исследований выполнено зонирование территории г. Томска по степени опасности и уровню риска для городской застройки. [1,2,3,4].

При зонировании территории г. Томска учитывались следующие факторы:

- особенности инженерно-геологического строения территории;
- закономерности развития опасных процессов на территории г. Томска;
- степень пораженности территории опасными природными и техно-природными процессами;
- величина экономического ущерба от воздействия опасных процессов;
- динамика развития опасных процессов;
- результаты геодезических наблюдений с применением спутниковой аппаратуры за развитием опасных процессов;
- результаты наблюдений за развитием глубинных оползневых процессов с применением геофизической аппаратуры АМКОВ;
- результаты обследования технического состояния зданий и сооружений в оползнеопасных зонах;
- уровень инженерной защиты территорий, зданий и сооружений.

С учетом всего многообразия факторов выделены четыре зоны: очень опасная, опасная, условно опасная, безопасная [2].

Проведенное зонирование территории г. Томска позволяет более эффективно решать локальные геоэкологические проблемы за счет выполнения превентивных мероприятий по инженерной защите. Ярким примером этому служит мкр. Солнечный, расположенной в очень опасной зоне. На этих территориях требуется незамедлительное внедрение мероприятий и проектов по инженерной защите, а строительство любых объектов должно быть запрещено.

Строительство микрорайона и дальнейшее освоение территории привело к общей потере устойчивости участка склона возле дома №89, где обострились оползневые процессы, создавшие непосредственную опасность для жителей.

Причинами активизации оползневого процесса в мкр «Солнечный» явились техногенные факторы:

- пригрузка склона вследствие строительства двух десятиэтажных домов;
- строительство гаражей на оползневом теле;
- устройство котлована для детского сада, способствующего совместно с утечками из водонесущих коммуникаций, формированию техногенного обводнения;
- отсутствие ливневой канализации.

Перечисленные причины оползневого процесса, как показали исследования, проявились на фоне крайне неблагоприятных инженерно-геологических условий. Геологическое строение территории характеризуется наличием слаболитифицированных горных пород глинисто-суглинисто-супесчанного состава, а гидрогеологические особенности обусловлены двумя водоносными горизонтами: верхним и нижним.

Верхний водоносный горизонт залегает на глубине 6-7 м., имеет мощность до 3 м. и приурочен к слою мелких и пылеватых песков. Направление движения подземных вод юго-западное при гидравлическом градиенте 0,044 и коэффициенте фильтрации 1,1 м/сут. С верхним водоносным горизонтом связано, главным образом, гидродинамическое воздействие подземных вод на склон.

Нижний водоносный горизонт имеет мощность 10-11 м. и отделен от верхнего слоем суглинков и глин. Водовмещающими являются палеоген-неогеновые пылеватые пески с примесью гравия. Гидравлические градиенты изменяются от 0,005 до 0,1 в зоне разгрузки, коэффициенты фильтрации от 0,6 до 1,2 м/сут. Нижний водоносный горизонт оказывает гидростатическое воздействие на склон, особенно в зоне разгрузки в пределах лога, где широко распространены источники рассредоточенного типа, мочажины и болота.

На основе анализа условий дренирования водоносных горизонтов, особенностей инженерно-геологических условий территории и выполненных расчетов рекомендовано следующее [1]:

1. Для верхнего водоносного горизонта в пределах участка разгрузки выполнить горизонтальный дренаж совершенного типа. Перехват и отвод подземных вод позволит стабилизировать оползневой процесс и совместно с удерживающей подпорной стенкой повысить общую устойчивость склона. Ось дренажа проходит по подошве склона и врезается в существующую ливневую канализацию. Глубина заложения траншеи от 2,8 до 2,5 м. с уклоном 10‰. Расчеты показали, что суммарный водоприток в дренажную траншею составит порядка 30 м. куб/сут. Для пропуска такого количества воды достаточно уложить асбестоцементные трубы $d=150$ мм. Прием воды осуществляется через перфорационные отверстия с шагом 40-45 мм, с расположением на 2/3 окружности трубы.
2. В дворовой части рекомендуется устройство вертикального дренажа в виде водопоглощающих колодцев. Гидродинамическое воздействие подземных вод верхнего горизонта на склон снизится за счет их перетока в нижний водоносный горизонт. Расчеты показали возможность поглощения нижним горизонтом объема воды из верхнего. Расчетное количество колодцев составляет 4 шт. Расстояние между скважинами определяется с учетом их радиусов влияния. На рис. 1 показана схема работы водопоглощающих колодцев
3. Основным мероприятием по закреплению склона является сооружение подпорной стенки. Удерживающую конструкцию целесообразно разместить в месте минимального оползневого давления - в верхней части склона, выше гаражей. Подпорную стенку выгодно применять совместно с контрбанкетом для уменьшения оползневого давления, которое согласно расчетов составит 240 кН/м. Конструктивно подпорная стенка объединена с двумя рядами буронабивных свай $d=0,75$ м. длиной- 10,4 м., железобетонным ростверком (рис.2.)

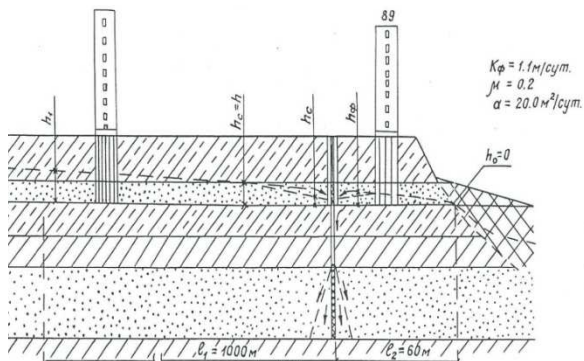


Рис. 1. Схема работы водопоглощающих колодцев

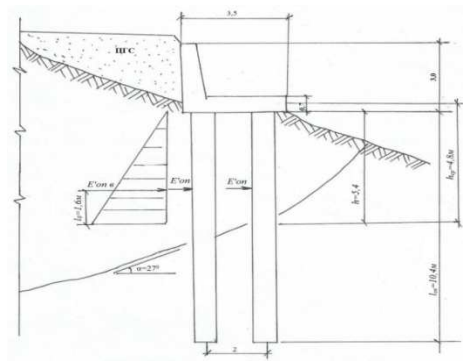


Рис. 2. Разрез удерживающей конструкции

Список используемых источников:

1. Инженерная защита урбанизированных территорий от опасных природных процессов: учебное пособие / В.Е. Ольховатенко, О.А. Бычков, Н.А. Чернышова. – Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2020. – 80 с. – Текст : непосредственный
2. Ольховатенко В.Е., Рутман М.Г., Лазарев В.И. Опасные природные и техноприродные процессы на территории города Томска и их влияние на устойчивость природно-технических систем. - Томск: Печатная мануфактура, 2005.- 152 с.
3. Ольховатенко В.Е., Рутман М.Г. Геоэкологические проблемы Томской агломерации. - Томск: Изд-во Том. гос. архит. – строит. ун-та, 2017.- 88 с.
4. Ольховатенко В.Е, Бычков О.А, Рутман, М.Г. Инженерно-геологические проблемы застройки территории г.Томска. International Scientific Journal «Global Scientific and Innovations 2019: Central Asia» Nur-Sultan, Kazakhstan, Sep-Ost 2019 S. 23-26
5. Осипов В.И. Урбанизация и природные опасности. Задачи, которые необходимо решать. //Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2007. №1. С. 3-9.

СИСТЕМЫ ГАЗОПОРОШКОВОГО ПОЖАРОТУШЕНИЯ: РЕАЛЬНОСТЬ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Деменкова Л.Г., к.пед.н., ст. преподаватель, Горбуров А.А., студ. гр. 17Г81.,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: labzitskiy@mail.ru

Аннотация: в статье приводится сравнительный анализ различных систем пожаротушения, описана технологическая и экономическая эффективность применения инновационных систем газопорошкового пожаротушения, приведён обзор автоматических систем газопорошкового пожаротушения «BiZone» и охарактеризованы перспективы их использования в различных отраслях промышленности.

Abstract: the article provides a comparative analysis of various fire extinguishing systems, describes the technological and economic efficiency of using innovative gas-powder fire extinguishing systems, provides an overview of automatic gas-powder fire extinguishing systems "BiZone" and describes the prospects for their use in various industries.

Ключевые слова: противопожарная защита, системы газопорошкового пожаротушения, тетраэдр горения, горение нефти и нефтепродуктов, флегматизация, изоляция.

Keywords: fire protection, gas-powder fire extinguishing systems, gorenje tetrahedron, gorenje nef-tej and oil products, phlegmatization, isolation.

Пожары на предприятиях различных отраслей промышленности ежегодно приносят значительный ущерб материальным и людским ресурсам. Поэтому противопожарной защите в РФ уделяется довольно большое внимание. Пожарная безопасность регламентируется нормативной документацией федерального, ведомственного, регионального, локального уровней. Согласно этим документам на некоторых предприятиях достаточно автоматических систем пожарной сигнализации и систем оповещения и управления эвакуацией, на других – обязательным является устройство автоматических систем пожаротушения (АУПТ). АУПТ позволяет зафиксировать опасные факторы пожара (дым, пламя и др.), подать сигнал тревоги для эвакуации персонала, произвести локализацию и ликвидацию пожара. При этом исключается человеческий фактор, повышается эффективность пожаротушения, минимизируются материальные и человеческие потери. Для специалистов по охране труда важно правильно выбрать тип и комплектацию АУПТ согласно конкретным задачам для предприятия, верно сформулировать техническое задание, подобрать грамотных исполнителей для проектирования и монтажа АУПТ. Следует отметить, газопорошковые системы пригодны для всех видов тушения – объёмного, площадного, локального, для всех видов пожаров (А, В, С, Е), а также при этом задействуются все способы тушения (снижение температуры, флегматизация, ингибирование, изоляция, аэродинамический срыв пламени). Особенно важно, что газопорошковые модули пригодны для тушения пожаров нефти и нефтепродуктов. В табл. 1 приведен сравнительный анализ систем пожаротушения разных типов [1–3].

Таблица 1

Сравнение АУПТ разных типов

Показатель	Тип АУПТ					
	Газопо- рошковая	Водя- ная	Аэрозольная	Порошковая	Газовая	Водопенная
Влияние на качество нефтепродуктов	Не влияет	Не влияет	Снижает	Снижает	Не влияет	Снижает
Огнетушащая концентрация:						
поверхностная, кг/м ²	0,66	–	–	0,8–2,5	–	–
объёмная, кг/м ³	0,19	–	0,08–0,1	0,3–0,35	0,5–0,9	–
Безопасность для окружающей среды	Да	Да	Нет	Да	Нет	Да/Нет
Диапазон эксплуа- тации, °С	-50...+50	+5...+50	-50...+50	-50...+50	-10...+50	+5...+50
Стоимость защиты, руб./м ³ (на 04.2021 г.)	150–200	–	190–230	450–600	800–1400	–

ООО «Каланча» (г. Сергиев Посад) – одна из ведущих российских компаний, работающих на рынке противопожарного оборудования. Компания существует на рынке с 1994 г. и в настоящее время вышла на мировой уровень по разработкам в области систем газопорошкового пожаротушения. В 1998 г. был запатентован способ тушения пожара и состав для его осуществления, в 2002 г. –

получен патент на способ тушения пожаров в резервуарах, в 2003–2009 гг. проводились обширные лабораторные и производственные испытания. В 2010–2012 гг. были осуществлены официальные натурные испытания по тушению РВС-5000–РВС-20000 на полигоне ФГБУ ВНИИПО МЧС России, в 2012 г. согласованы ТУ на защиту резервуаров, а уже в 2013 г. впервые в мире применена АУГПП-1000 для защиты двух РВС-1000 с дизельным топливом. В 2014 г. был принят Государственный стандарт на установки газопорошкового пожаротушения [4]. Компанией реализован ряд успешных проектов на территории России для ГК «Росатом», ГК «Норникель», ОАО «РЖД», ПАО «Лукойл», ПАО «Мечел», силовых структур и федеральных служб РФ.

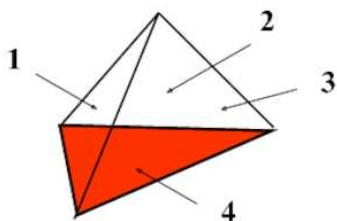


Рис. 1. Пожарный тетраэдр:

1 – горючее вещество; 2 – кислород;
3 – теплота; 4 – цепная реакция

Путем испытаний установлено, что при применении газопорошка для тушения пожаров наблюдается синергетический эффект: газопорошка надо меньше, чем газа или порошка. Так, огнетушащая концентрация CO_2 составляет 700 г/м^3 , порошка – 500 г/м^3 , газопорошка «BiZone» – 200 г/м^3 . Это позволяет снизить стоимость единицы защищаемого объема.

Известно, что графически физико-химическую сущность процесса горения можно представить в виде «тетраэдра горения» (рис. 1). Горение прекращается, если убрать одну из граней тетраэдра.

Системы газопорошкового пожаротушения воздействуют на все грани тетраэдра:

- осуществляется механический срыв пламени, т.к. скорость распыления газопорошка составляет 70 м/с ;
- снижается температура в очаге пожара на $50\text{--}70^\circ\text{C}$ за счёт CO_2 ;
- осуществляется флегматизация процесса горения, т.к. присутствие CO_2 снижает содержание кислорода в воздухе до 19 %;
- происходит изоляция очага горения от окружающей среды, т.к. порошок равномерно покрывает тонким слоем всю площадь пожарной нагрузки вне зависимости от того, что горит – жидкое топливо или твердое горючее вещество.

Системы газопорошкового пожаротушения «BiZone» успешно прошли испытания и используются на складах вооружения Минобороны РФ, в архивах различного ведомственного подчинения, на предприятиях нефтегазовой и нефтехимической промышленности.

Рассматриваемая инновационная разработка в сфере пожаротушения – модули газопорошкового пожаротушения (МГПП) «BiZone» отвечает всем требованиям, предъявляемым к средствам пожаротушения, применяемым на опасных производственных объектах (рис. 2).



Рис. 2. Модули газопорошкового пожаротушения «BiZone»:
а – МГПП-110- CO_2 -30-РХ-АВСЕ-У2; б – МГПП-11.5- CO_2 -3.1-РХ-АВСЕ-У2;
в – МПП (Н)-7.5-КД-1-3-У2

Основными компонентами для пожаротушающей смеси являются огнетушащий порошок «Феникс АВС-70», состоящий главным образом из фосфата аммония (вещество 3 класса опасности) и CO_2 . В настоящее время выпускается пять моделей МГПП, рассчитанных на разные защищаемые объёмы. МГПП состоит из:

- системы пожарных извещателей;
- электроприборов для управления установкой (провода, панель управления и т.д.);
- баков с порошком и баллонов с CO_2 ;
- системы трубопроводов;
- специальных распылителей огнетушащего вещества.

При распылении огнетушащего вещества МГПП мелкодисперсный порошок, используемый в данной системе, перемешивается с углекислотой и создает эффект «пыли» по всему объему помещения и медленно оседает на источник возгорания. Поэтому неважно, в какой точке помещения произошло возгорание, пожар будет гарантированно потушен. Пожаротушащая концентрация газопорошка остается в воздухе примерно 2–4 минуты, что не позволяет источнику зажигания повторно инициировать возгорание [3].

Особенностью газопорошкового пожаротушения является то, что для достижения эффекта тушения, можно локально непосредственно в месте возгорания образовать огнетушащую концентрацию на время, нужное для непосредственного тушения очага пожара. Испытаниями было выведено примерное время тушения источника возгорания, которое составило 2–6 с [3]. Именно поэтому система газопорошкового пожаротушения практически не чувствительна к степени негерметичности помещения. В отличие от газовых и аэрозольных установок данная система может результативно использоваться для тушения наружных установок [5]. При тушении резервуаров, как только извещатели, расположенные в верхней части резервуара, обнаруживают возгорание, прибор управления МГПП генерирует импульс, который приводит систему к пуску. У данной системы сравнительно низкая инерционность, и огнетушащая смесь подается в область горения примерно спустя 5 с после подачи сигнала от пожарных извещателей, обеспечивая быстрое тушение огня на стадии его зарождения. Данная система легко монтируется и удобно размещается в любой точке помещения, а затем к точке возможного возгорания подводится трубопровод с распылителями и пожарные извещатели для обнаружения пожара. МГПП «BiZone» свободно интегрируются в единую систему автоматического пожаротушения с любым оборудованием АУПС российского и зарубежного производства (рис. 3).

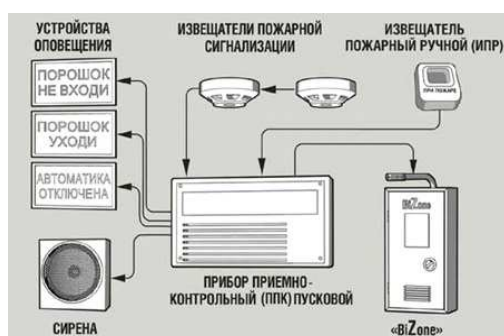


Рис. 3. Схема подключения МГПП «BiZone» в АУПТ

При размещении МГПП «BiZone» во взрывоопасных зонах установка дополнительного оборудования для обеспечения взрывозащиты не требуется. Срок действия модулей – от 10 до 20 лет в зависимости от модели. Через 10 лет следует поменять порошок, перезарядить углекислоту и пользоваться аппаратом дальше.

Эффективность системы подтверждена многочисленными испытаниями в сложных условиях: на эстакадах слива-налива нефтепродуктов, в резервуарах с нефтепродуктами РВС-20000 (рис. 4), в архивах и др. Положительный результат тушения был получен даже при ветре со скоростью 20 м/с и температуре 40 °С.



Рис. 4. Испытания МГПП «BiZone» при тушении РВС-20000 на полигоне ВНИИПО

Следует отметить, что при применении газопорошковых систем, так же, как и при использовании порошка, сработка должна осуществляться с задержкой 30–60 с после сигнала к эвакуации работников. Для защиты органов дыхания от газопорошка необходимы респираторы, самоспасатели.

Работники должны быть проинструктированы по поведению в случае пожара, умению пользоваться СИЗ. Таким образом, на наш взгляд, системы газопорошкового пожаротушения достаточно перспективны для использования в промышленности, в т.ч. и на опасных производственных объектах.

Список используемых источников:

1. Адуков А.-Р.С. Технология газопорошкового пожаротушения на опасных объектах // Вопросы науки и образования. – 2019. – № 12 (59). – С. 44-48.
2. Годовников А.И. Моделирование процессов горения и пожаротушения попутного нефтяного газа на территории ХМАО-Югры (с применением автоматических установок газопорошкового пожаротушения) // Перспективы науки. – 2018. – № 7(106). – С. 21-27.
3. Газопорошковое пожаротушение. Механизм, особенности, практика применения, перспективы [Электронный ресурс] / О.А. Просолупов [и др.] / BiZone: технологии объёмного пожаротушения. – Режим доступа: <http://bizone-tech.ru>. Дата обращения: 11.04.2021 г.
4. ГОСТ Р 56028-2014 «Установки и модули газопорошкового пожаротушения автоматические». – М.: Стандартинформ, 2019. – 20 с.
5. Ананьев С.А. Технология газопорошкового пожаротушения на опасных объектах [Электронный ресурс] / Химагрегаты. – Режим доступа: <https://himagregat-info.ru/science/tekhnika/tekhnologiya-gazoporoshkovogo-pozharotusheniya-na-opasnykh-obektakh>. Дата обращения: 11.04.2021 г.

УПРАВЛЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫМИ РИСКАМИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ СВАРОЧНЫХ РАБОТ

Л.Г. Деменкова, к. пед. н., ст. преп.

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: lar-dem@mail.ru

Аннотация: В статье проводится идентификация рисков при проведении сварочных работ, устанавливаются их причины и предлагаются меры управления выявленными рисками.

Abstract: The article identifies the risks associated with welding operations, identifies their causes, and suggests measures to manage the identified risks.

Ключевые слова: профессиональный риск, сварочные работы, управление рисками, средства индивидуальной защиты.

Keywords: occupational risk, welding operations, risk management, personal protective equipment.

Оценка и управление профессиональными рисками являются прямой обязанностью работодателя, нормативную базу которой составляют:

- ТК РФ (раздел X «Охрана труда»), который определяет обязанности работодателя по управлению профессиональными рисками [1];
- приказ Минтруда РФ от 19.08.2016 г. N 438н, устанавливающий порядок проведения и процедуры оценки и управления профессиональными рисками [2];
- приказ Роструда РФ от 21.03.2019 г. N 77, содержащий методические указания по контролю результатов оценки профессиональных рисков инспекторами Государственной инспекции труда [3].

Процедура управления профессиональными рисками – наиболее эффективное средство по снижению уровня травматизма и несчастных случаев на производстве. Наличие полной информации о существующих опасностях и рисках даёт возможность реализовать своевременные мероприятия по предотвращению значимых рисков, и этим существенно снизить вероятность несчастных случаев на производстве и тяжесть их последствий.

Одним из основных технологических процессов обработки металлов является сварка. Это наиболее экономичный и эффективный способ неразъемного соединения металлов, широко распространённый в промышленности. Сварка подразумевает соединение металлических деталей в результате их нагрева. Проблема в том, что разогретый металл легко окисляется на воздухе, сварочный процесс затрудняется (для газовой резки это неважно). Чтобы исключить образование оксидной плёнки, используют различные способы – атмосферу защитного газа, флюс, обмазку электродов. При этом в воздух рабочей зоны выделяются химические вещества, следовательно, при проведении сварочных работ можно чётко выделить явные химические опасности.

Для того, чтобы более полно идентифицировать опасности при проведении сварочных работ, следует уточнить, что видов сварки существует довольно много. Идентификация опасностей проведена для ручной дуговой, аргоновой, полуавтоматической, точечной, газопламенной сварки и газорезки. В данной работе не рассматриваются кузнечная, плазменная, электрошлаковая и сварка под флюсом. Кузнечная сварка является принципиально другим процессом. Автоматическая сварка (электрошлаковая, плазменная, под слоем флюса) проводится без присутствия работника непосредственно около свариваемых деталей. Основной мерой защиты работника в этом случае является защита расстоянием – удаление человека из опасной зоны.

Для оценки профессиональных рисков следует выделить отдельные производственные операции:

- перенос оборудования к месту производства работ;
- подключение и отключение оборудования;
- подготовка материала, резка, крепление изделия и пр.;
- выполнение сварных швов;
- зачистка сварных швов, удаление шлака;
- уборка рабочего места.

Различные операции характеризуются разными опасностями. Для того, чтобы предусмотреть максимально возможно все опасности, имеет смысл определить риски для каждой из операций. В первую очередь выделим риски падения работника, которые являются сквозными рисками для всех производственных процессов. Причинами падения могут стать разложенные на полу в проходах кабели, газовые шланги, заготовки, тара и т.п. Мерами управления данным риском (т.е. мероприятиями, направленными на снижение риска) являются, во-первых, рациональная организация рабочего места, во-вторых, своевременная уборка не используемого в данный момент оборудования и материалов, и, в-третьих, инструктажи работников. Если рабочее место является стационарным, следует закрепить кабели выше уровня пола с помощью каких-либо конструктивных решений, чтобы обеспечить свободный проход по рабочей зоне. Конечно, по сравнению со сваркой на высоте риски падения с высоты собственного роста не столь серьёзны, однако они позволяют получить представление о культуре безопасности на данном предприятии, которая управляет поведением работников.

Химические риски обуславливаются выделением определённого количества вредных веществ в воздух рабочей зоны при сварке металлов. Вредные вещества могут попасть в глаза, в желудочно-кишечный тракт, в дыхательную систему. Наиболее опасны в этом отношении процессы сварки цветных металлов и сплавов. Но даже при сварке чёрных металлов, где большая часть материала представляет собой железо, могут выделяться пары марганца, оказывающие разрушительное влияние на здоровье работника. При сварке нержавеющей стали в воздух рабочей зоны выделяются никель и хром, при сварке оцинкованного железа – пары цинка. Вдыхание большого количества угарного газа снижает содержание кислорода в крови, что ухудшает снабжение органов и тканей кислородом. Доказана зависимость потери слуха при воздействии угарного газа на сварщика [4]. В плохо проветриваемых помещениях, при недостаточной вентиляции газовая составляющая сварочного аэрозоля вытесняет кислород из помещения.

К мерам управления химическими рисками относятся следующие:

- использовать сварочные щитки, держать лицо как можно дальше от места сварки;
- всегда удалять остатки краски со свариваемых поверхностей;
- правильно использовать системы местной вентиляции, располагать вытяжку максимально близко к сварному шву. При сварке в труднодоступных местах (под оборудованием, в нишах) использовать локальные переносные вытяжки с гибким шлангом;
- для защиты органов дыхания использовать респиратор или сварочный щиток с фильтром, а в особо опасных случаях – с подачей воздуха (рис. 1, а).

Иногда у специалистов возникает вопрос: нужно ли идентифицировать химические риски, если сварка производится на открытом воздухе. Опасность выделения химических веществ есть всегда, однако её уровень определяется мерами управления и в данном случае минимален, т.к. сварочный аэрозоль рассеивается в пространстве.

При проведении сварочных работ генерируется шум повышенного уровня, выделяемый сварочными аппаратами, слесарным инструментом для обработки металла и др. К мерам управления данным риском относятся: использование средств индивидуальной и коллективной защиты (наушники, беруши, защитные экраны, технические средства подавления шума, своевременные технические осмотры оборудования и ремонтно-профилактические работы, рациональный режим труда

и отдыха. Следует отметить, что достаточно надёжны и эргономичны комбинированные средства защиты, например каска со щитком и слотами для наушников. Однако ограничивает их широкое применение на предприятиях относительно высокая стоимость.



Рис. 1. Средства индивидуальной защиты сварщиков:
а – щиток сварщика «Сварог AS-4001F УЛЬТРА» с устройством подачи воздуха P-1000,
б – защитная маска SOLEDI с автоматическим затемнением антибликовая

Вследствие возможного контакта с горячими поверхностями, а также попадания брызг расплавленного металла на работника, при проведении сварочных работ следует идентифицировать риск термических ожогов. Конечно, горячая и холодная поверхность металла имеют разный цвет, но в сварочном щитке это плохо видно. Такие ожоги работники часто получают не в момент сварки, а после неё, пока поверхность ещё не остыла. Что касается брызг, то, попадая в складки одежды, они могут воздействовать довольно длительно, прожигая даже стойкие к термическому воздействию ткани. Мерой управления риском в данном случае является грамотное применение средств индивидуальной защиты – спецодежды, спецобуви, рукавиц.

При проведении сварочных работ нередко ожоги глаз вследствие раскалённых отлетающих капель металла, удаления окалины щёткой или молотком и под действием ультрафиолетового излучения. В этом случае также следует правильно применять средства индивидуальной защиты (СИЗ) – защитные очки и сварочные маски с автоматическим затемнением, антибликовые и др. (рис. 1, б). Например, при проведении сварочных работ сварщик пользуется лицевым щитком для защиты от УФ-излучения, а его подручный, слесарь, использует защитные очки, защитный экран от брызг и т.д. Установлено [5], что примерно третья часть травм глаз, зафиксированных при проведении сварочных работ, связана с перенесением острых частиц металла с рук при трении.

Зачастую риски при осуществлении производственной деятельности обуславливаются эргономическими показателями. Причинами эргономических рисков при проведении сварочных работ являются:

- пребывание в неудобной позе (наклон корпуса, удержание предметов на весу, опускание на колени);
- физические нагрузки (перенос тяжестей);
- оборудование и аппараты, не соответствующие физическим особенностям работника.

На стационарном сварочном посту можно подобрать удобную позу, но при сварке потолочных швов и т.п. это сделать сложнее. Кроме того, к нестационарным рабочим местам, например, при проведении газовой сварки, приходится доставлять газовые баллоны вручную или с помощью тележек. Меры управления данными рисками основываются на рациональной организации рабочего места и режиме труда и отдыха, подборе оборудования и СИЗ, инструктажах работников.

Любая производственная деятельность, связанная с применением электроприборов, характеризуется появлением электрических рисков, причинами которых являются неисправность оборудования или ошибки работников. Уместно рассмотреть их для электросварки. Эскалация этих рисков обуславливается общеизвестным фактом: сварочные работы под дождём, проводимые по требованию работодателя – это далеко не редкость [6]. Следует отметить, что постоянный ток менее опасен, чем переменный, т.к. при его воздействии исключается биологическое воздействие (изменение химического состава крови, межклеточной жидкости и др.). Для управления данными рисками используют СИЗ, инструктажи и повышение квалификации работников, а также применение источников постоянного тока.

Довольно распространены при проведении сварочных работ риски пореза (абразивного воздействия) острыми краями свариваемых материалов, кромками инструмента, металлической стружкой и т.п. Для защиты от порезов используют СИЗ – рукавицы, перчатки, спецодежду, спецобувь (рис. 2).

Поскольку сварочные работы по существу являются тепловыми процессами, не следует исключать риски возникновения пожара. Причинами их возникновения в основном являются скопления горючих материалов в месте производства сварочных работ: протечки смазочного масла, брошенная ветошь и др. Мерами управления пожарными рисками является повышение квалификации работников, обеспечение места проведения работ первичными средствами пожаротушения (ручной пожарный инвентарь, огнетушители и др.).

При рассмотрении мер управления рисками необходимо представлять, что они имеют разную эффективность: например, применение знаков безопасности (баннер «Будьте осторожны при работе со сварочным оборудованием!») не так существенно влияет на безопасность труда, как технические меры (автоматизировать процесс, убрать человека из зоны сварки). Кроме того, важной закономерностью, которая отмечена учёными [6], является утрата ощущения опасности работниками с большим стажем: газосварщик зажигает резак от сигареты, электросварщик наматывает кабель на руку. Несерьёзное отношение к потенциальным опасностям увеличивает вероятность их реализации.

Приведённый анализ профессиональных рисков при проведении сварочных работ имеет предварительный характер, не претендует на полноту и может быть основой для выявления профессиональных рисков на конкретном рабочем месте.

Список используемых источников:

1. Федеральный закон от 30 декабря 2001 года N 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 5 апреля 2021 года)» / КОДЕКС. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901807664>. Дата обращения: 08.04.2021.
2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19.08.2016 г. № 438 н «Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда» // Российская газета. – 25 октября 2016 г. – С.1-2.
3. Приказ Роструда от 21.03.2019 N 77 «Об утверждении методических рекомендаций по проверке создания и обеспечения функционирования системы управления охраной труда» / Консультант Плюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_322223/. Дата обращения: 08.04.2021.
4. Бешмет Г.Е. Взаимосвязь содержания угарного газа в воздухе рабочей зоны с показателями остроты слуха работников сварочных производств (по данным медосмотров) // Медицина труда и промышленная экология. – 2020. – № 2. – С. 23-29.
5. Трушкова Е.А. Особенности профессиональных заболеваний электросварщиков при выполнении сварочных работ на производстве / Е.А. Трушкова, Е.В. Ладная // Молодой ученый. – 2016. – № 18.1 (122.1). – С. 25-27. – URL: <https://moluch.ru/archive/122/33781/>. Дата обращения: 14.04.2021.
6. Минакова П.С. Анализ вредных и опасных производственных факторов при ручной дуговой сварке на рабочем месте сварщика / П.С. Минакова, А.С. Войщева, В.Р. Игнатова // Безопасность и охрана труда. – 2020. – № 4 (85). – С. 36-38.

СРАВНЕНИЕ АЭРОЗОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОЖАРОТУШЕНИЯ И СИСТЕМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОГНЕТУШАЩЕГО ВЕЩЕСТВА NOVES 1230 НА ПРИМЕРЕ ВЕРТОЛЕТНОГО КОМПЛЕКСА КОРАБЛЯ

Д.Д.Кораблев оператор первой научной роты, А.А. Кривошеев оператор научной роты,

Д.С.Калинкин оператор научной роты.

ВУНЦ ВМФ «Военно-морская академия»

199162, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Кадетский бульвар, 1

E-mail: korablev.denis.96@mail.ru

Аннотация: в статье проведено сравнение двух систем объемного пожаротушения для применения в вертолетном комплексе корабля.

Abstract: the article compares two systems of volumetric fire extinguishing for use in the helicopter complex of the ship.

Ключевые слова: объемное пожаротушение, аэрозоль, генераторы аэрозоля, допустимая концентрация, огнетушащее вещество, сухая вода.

Keyword: volumetric fire extinguishing, aerosol, aerosol generators, permissible concentration of extinguishing agent dry water.

С каждым годом экологические нормы и правила все больше и больше ужесточаются. Научный мир ищет пути к снижению вредного воздействия жизнедеятельности человека на природу.

Жидкость Noves 1230 (Фторкетон ФК-5-1-12) входит в перечень веществ, которые разрешено применять на территории бывшего Советского Союза.

Вещество в исходном виде не ядовито, растворимость в воде крайне низкая, поэтому вещество не может попасть в организм через клеточные мембраны. Однако обращаться с веществом в открытом виде следует с осторожностью из-за низкой предельно допустимой концентрации паров (150 ppm, парциальное давление 15 Па) и высокой летучести (парциальное давление насыщенных паров 40 кПа при нормальных условиях).

В случае срабатывания системы пожаротушения и выпуска пожаротушащего вещества в атмосферу, Noves 1230 разрушается в верхних слоях атмосферы под воздействием ультрафиолета и удаляется из окружающей среды в течение 5 суток. Выпуск установки газового пожаротушения (ГПТ) на основе хладона (348 кг хладона 227), равносителен выбросу в атмосферу 1 008 926 кг CO₂, что сравнимо с годовым выбросом CO₂ от 211 легковых автомобилей. Выпуск установки ГПТ на основе фторкетонoв (401 кг Noves 1230) равносителен выбросу 401 кг CO₂ (0,07 машины в год).

Для помещений вертолетного комплекса был произведен расчет количества огнетушащего вещества. К помещениям вертолетного комплекса относят: ангар для вертолета V_p = 378 м³, вертолетная мастерская V_p = 62 м³, кладовая вертолетного имущества V_p = 67 м³, заправочный пост №1 V_p = 68 м³, заправочный пост №2 V_p = 59 м³.

Расчетная масса газового огнетушащего вещества рассчитывается по формуле:

$$M_p = K_1 * V_p * \rho_1 * (1 + K_2) * \left(\frac{C_n}{100 - C_n} \right)$$

где K₁ = 1,05- коэффициент учитывающий утечки огнетушащего вещества из баллонов через неплотности в запорной арматуре;

$\rho_1 = \rho_0 * \left(\frac{T_0}{T_m} \right) * K_3$ – плотность газового огнетушащего вещества ρ_1 , кг/м³;

$\rho_0 = 13$ кг/м³ - плотность паров газов огнетушащего вещества (при T₀=293K) и атмосферном давлении 101,3 кПа;

K₃=1 - поправочный коэффициент учитывающий высоту расположения объекта относительно уровня моря;

$K_2 = \Pi * \delta * \tau_{\text{под}} * \sqrt{H}$ – коэффициент, учитывающий потери огнетушащего вещества через негерметичные помещения;

$\Pi = 0,1 \text{ м}^{-0,5} \cdot \text{с}^{-1}$ – параметр, учитывающий расположение проемов по высоте защищаемого помещения;

$\delta = \frac{\Sigma F_n}{V_p}$ – параметр не герметичности помещения, м⁻¹;

ΣF , м² – суммарная площадь проемов;

C_n=3,5% – объемная нормативная концентрация;

τ =10 сек – время пуска расчетной массы. [3],[4],[5]

Расчетная масса огнетушащего вещества для каждого помещения:

- ангар для вертолета – 185 кг;
- вертолетная мастерская – 30 кг;
- кладовая вертолетного имущества – 33 кг;
- заправочный пост №1 – 33;
- заправочный пост №2 – 29.

Для тушения помещений вертолетного комплекса принимаем 8 баллона объемом $V=30$ л. с массой заряда 30 кг. объем баллона 81 л. Заполняемость баллона 1,0 кг/л.

Для системы пожаротушения с использованием Noves 1230 был произведен расчет трубопровода. Расчет производился по следующим формулам.

$$G = 0,95 \frac{M}{\tau} - \text{требуемый массовый расход, кг/с;}$$

где, M_p - Расчетная масса газового огнетушащего вещества, кг;

$\tau=10$ сек - время пуска расчетной массы.

$$F_n = \frac{G}{\mu \cdot J} - \text{суммарная площадь выпускных отверстий насадок, м}^2;$$

где, $J=1000$ - начальное значение приведенного массового расхода огнетушащего вещества, кг/(с·м²);

$\mu=0,65$ - коэффициент расхода насадок.

$$f = \frac{F_n}{N} - \text{расчетная суммарная площадь сечения выпускных отверстий одной насадки, м}^2$$

где, $N=24$ - количество насадок в помещениях.

$f_c=0,000107$ - Суммарная площадь сечения выпускных отверстий одной насадки, м²

$n_n=2$ - число насадок в рядке;

$$D_{рд} \geq K_{рд} \sqrt{\frac{4 \cdot n_n \cdot f_c}{\pi}} - \text{диаметра распределительного коллектора (рядка), м;}$$

$прд=3$ - число рядков присоединенных к распределительному трубопроводу;

$$D_{рс} \geq D_{рд} \sqrt{n_{рд}} - \text{диаметр распределительного трубопровода, м;}$$

$прс=5$ - число распределительных трубопроводов;

$$D_m \geq D_{рс} \cdot \sqrt{n_{рс}} - \text{диаметр магистрального трубопровода, м. [1]}$$

В итоге имеем трубопровод с диаметрами: $D_m=0,0711$ м; $D_{рс}=0,0318$ м; $D_{рд}=0,0183$ м.

Для помещений вертолетного комплекса расчетная масса (кг) аэрозолеобразующего состава рассчитывается по формуле:

$$M_{АОС} = K_1 K_2 q_n V$$

где V - расчетный чистый объем помещения, м³;

K_1 - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения аэрозоля по высоте помещения;

K_2 - коэффициент запаса;

q_n - нормативная огнетушащая способность, кг·м³. [2],[4],[5]

Расчетная масса огнетушащего вещества для каждого помещения:

- ангар для вертолета – 42 кг;
- вертолетная мастерская – 7 кг;
- кладовая вертолетного имущества – 7,5 кг;
- заправочный пост №1 – 7,6 кг;
- заправочный пост №2 – 6,6 кг.

Для тушения пожаров будет применяться аэрозолеобразующий состав:

Аэрозолеобразующий состав:

- $2K_2CO_3 \cdot 3H_2O$ (Карбонат калия с водой) - 52,7%;
- NH_4HCO_3 (Гидрокарбонат аммония) - 25,7%;
- $KHCO_3$ (Гидрокарбонат калия) - 8,2%;
- KNO_3 (Нитрат калия) - 7,9%;
- Другие соединения - 5,5.

Опасные факторы аэрозоля:

- относительная токсичность огнетушащего аэрозоля,
- высокая температура аэрозольной струи и корпуса генераторов,
- травмирование человека при его передвижении в условиях полной потери видимости из-за работы аэрозоля.

Сравнение стоимости систем приведено в таблице 1.

Таблица 1

Сравнение стоимости систем.

Параметр сравнения	Аэрозольное пожаротушение	Noves 1230
Стоимость оборудования	Генератор огнетушащего аэрозоля (снаряженный) 11 200 руб./ шт. 20 шт.-224 000 руб.	Баллон(пустой) объемом 30л 106 000 руб/шт. 4шт.-424 000 руб. Баллон(пустой) объемом 60 л 160 000 руб/шт. 4шт.-640 000 руб.
	Щит управления и сигнализации (ЩУС) 65 800 руб./шт. 2шт.-131 600 руб.	Сигнализатор давления 3159 руб./шт. 4шт.-12 636руб.
	Щит промежуточных реле (ЩПР) 15 900 руб./шт. 6шт.-95 400 руб.	Пневмопуск 37853руб./шт. 5шт.-189 265руб.
	Оповещатели светозвуковые ОСКС 16 500руб./шт. 6шт.-9 900	Электромагнитный клапан 25700руб./шт. 5шт.-128 500руб.
	Кабель электрический взрывозащищенный 70 000 руб.	Насадок-распылитель 4 783руб. /шт. 20шт.-97 460руб. Трубопроводы, арматура, фитинги, крепления. 200 000руб.
Расходные материалы	Аэрозольный картридж, 7800 руб./шт. 156 000 руб.	Газовое огнетушащее вещество Noves 1230 4000руб.-1кг - 200 000 руб.
Итого для снаряженных систем без учета расходных материалов в случае срабатывания	776 000 руб.	1 891 852 руб.

Система аэрозольного пожаротушения является наименее габаритной, самая легкая и наравне с огнетушащим веществом Noves 1230 не наносит вреда экологии и человеку, но в тоже время она является и самой дорогой. Аэрозоль безопасна для имущества и электроприборов.

Список используемых источников:

1. Методика гидравлического расчета установок газового пожаротушения. НПО «Пожарная автоматика сервис» Москва 2007 – 16с.
2. НПБ 21-98. Установки аэрозольного пожаротушения автоматические. Нормы и правила проектирования и применения – 15с;
3. Установки пожаротушения на основе газовых огнетушащих веществ. Руководство для проектирования. Москва 2004 – 11с;
4. Правила классификации и постройки морских судов Российского Морского Регистра Судоходства, 2019 г., часть VI – 142с;
5. Правила классификации и постройки морских судов Российского Морского Регистра Судоходства, 2019 г., часть VIII – 218 с.
6. Котов В.С. проблема влияния качества топлива на экономичность и экологическую безопасность / В.С. Котов. Р.К. Резникова // техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы конференции в 2-ч частях, Петропавловск-Камчатский, 17-19 октября 2018 года / Ответственный за выпуск О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский: Камчатский государственный технический университет, 2019. – С. 48-53

ПРОФЕССИОНАЛЬНЫЕ РИСКИ ПРИ РАБОТЕ РУЧНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Л.Г. Деменкова, к.пед.н., ст. преп, В.О. Кучумов, студ гр. 17Г81.,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26
E-mail: kuchumov.viktor@mail.ru

Аннотация: в статье приводится анализ профессиональных рисков при осуществлении работ с помощью ручного инструмента, что актуально для практически любой профессиональной деятельности. Выделена нормативная база оценки профессиональных рисков, приведены алгоритмы оценки рисков и выявления мер управления рисками.

Abstract: the article provides an analysis of professional risks when performing work with a hand tool, which is relevant for almost any professional activity. The regulatory framework for professional risk assessment is highlighted, and algorithms for risk assessment and identification of risk management measures are presented.

Ключевые слова: профессиональный риск, источник опасности, оценка риска, меры управления рисками, ручной инструмент.

Keywords: occupational risk, hazard source, risk assessment, risk management measures, manual tool.

Большинство работников на производстве (и не только) так или иначе используют ручной инструмент. Такие работы характерны для многих технологических процессов, включая ремонт и наладку оборудования. Работы, связанные с использованием ручных инструментов, сопряжены с опасностями для работников, поэтому для этих работ следует проводить оценку профессионального риска, которая базируется на следующих нормативных правовых актах:

- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 г. N 197-ФЗ [1];
- Приказ Минтруда России от 19.08.2016 г. N 438н «Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда» [2];
- Приказ Роструда от 21.03.2019 г. N 77 «Об утверждении методических рекомендаций по проверке создания и обеспечения функционирования системы управления охраной труда [3].

Нормативно-техническую базу составляют комплекс ГОСТ, касающихся системы управления охраной труда. Оценка риска осуществляется по следующему алгоритму:

- на рабочем месте выявляются источники опасности, факторы риска;
- проводится оценка его уровня;
- делается вывод о его приемлемости;
- устанавливаются последствия реализации опасности;
- выявляются меры управления рисками.

Для идентификации опасностей анализируются способы воздействия производственной среды на организм работника: механические, термические, эргономические, электрические, химические и др. [2]. Для выявления мер управления рисками следует ответить на следующие вопросы:

- можно ли убрать работника из опасной зоны?
- можно ли изменить источник опасности?
- можно ли поддерживать источник опасности в безопасном состоянии?
- можно ли поставить барьер перед источником опасности?
- можно ли защититься с помощью СИЗ?
- зависит ли риск от поведения работника?
- что делать, если риск реализуется (рис. 1)?

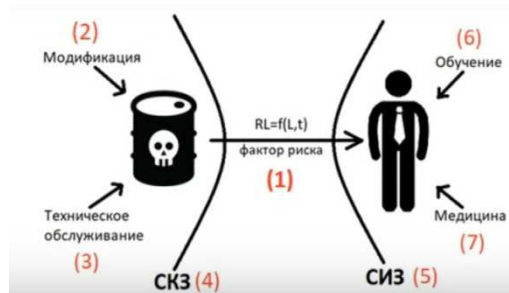


Рис. 1. Анализ мер управления рисками

При отборе мер управления рисками выясняют их необходимость, планируют и реализуют мероприятия, проводя их на регулярной основе до устранения опасности или минимизации её риска. Профессиональные риски подразделяют на приемлемые (не требуют принятия дополнительных мер управления), допустимые (требуют обязательного мониторинга) и неприемлемые (требуют выработки и принятия дополнительных или совершенно новых мер управления) [4]. Результаты оценки профессиональных рисков доводятся до сведения заказчика.

Работа ручным инструментом может составлять как основную трудовую функцию работника, так и являться составной частью многих других работ. Часто инструменты применяются не в режиме нормальной эксплуатации, а в аварийной или нештатной ситуации. Также потребность в применении инструментов может возникнуть при настройке, чистке и ремонте оборудования. Опасность в этом случае может являться следствием использования неисправного инструмента, его неправильного использования (не по назначению).

В первую очередь при работе ручным инструментом можно идентифицировать риски падений. Причинами данных рисков могут быть инструмент, оставленный на проходе, наличие проводов, шлангов и т.п. на полу. К мерам управления данными рисками относятся своевременные инструктажи работников, рациональная организация рабочего места. В локальных инструкциях следует прописать способы организации рабочего места, способствующие уменьшению риска падения (работы, выполняемые по наряду-допуску, не рассматриваем).

Распространённым риском является риск падения орудий труда с высоты. Нередки случаи оставления тяжелых инструментов (молотков, кувалд и т.п.) на шкафах, верхних полках и т.п. Мерами управления рисками являются рациональная организация рабочего места, использование СИЗ – средств индивидуальной защиты (каска, спецобувь и др.), использование систем для закрепления инструмента (разного рода держатели и органайзеры), своевременные и информативные инструктажи работников.

При пользовании ручным инструментом нередко от обрабатываемого изделия отлетают осколки, стружка и т.п. Поэтому следует идентифицировать удары частицами с высокой энергией. В качестве мер управления применяют СИЗ (спецодежду, защитные щитки, очки, рукавицы и др.), защитные экраны, обучение работников рациональным приёмам работы, инструктирование.

В большинстве случаев обрабатываемые изделия, осколки и стружка имеют острые грани, кромки. Следовательно, не исключен риск пореза. Причины порезов:

- контакт с острыми кромками и режущей частью инструмента;
- острые кромки и заусенцы на обрабатываемой поверхности;
- движущаяся абразивная часть инструмента.

Выделим следующие меры управления: использование СИЗ, выбор нетравмирующей конструкции инструмента, инструктажи работников.

Работа с ручным инструментом сопровождается выделением шума, иногда довольно значительного, превышающего допустимые нормы, особенно для неисправного инструмента. Для управления рисками шума используют СИЗ (наушники, беруши), проводят своевременные техосмотры оборудования, применяют рациональный режим труда и отдыха.

При работе с ручным инструментом шум неотделим от вибрации. Риски локальной вибрации могут реализоваться по причине контакта работника с инструментом, создающим вибрацию. Для управления риском вибрации используют СИЗ (рукоятки инструмента, антивибрационные перчатки, спецобувь и стельки с демпфирующими вставками), своевременные техосмотры оборудования, соблюдают распорядок трудового дня с регламентированными перерывами.

Эргономика направлена на оптимизацию условий труда и повышение их безопасности за счёт приведения средств труда в соответствие анатомо-биологическим возможностям человека. Причинами эргономических рисков являются неудобные и вынужденные позы работников при выполнении работ в труднодоступных местах, физические нагрузки, неудобно сконструированные инструменты. К мерам управления данными рисками являются: правильная организация рабочего места, инструктажи работников, рациональный режим труда и отдыха, выбор инструмента согласно анатомическим особенностям работника.

При работе с оборудованием высокого давления (ручным пневмоинструментом) в случае его неисправности работник может получить удар сжатым воздухом. Например, пневмоинструмент компании «Kraft-Air» работает от линии сжатого воздуха под давлением 6,3 бар (630 кПа). Для управления рисками ударом газа под давлением применяют: техническое обслуживание инструмента, поддержание его в надлежащем техническом состоянии, инструктажи персонала, СИЗ (защитные шлемы, наушники, очки, щитки, перчатки, спецодежду, спецобувь).

При работе с ручным электроинструментом причиной электрических рисков может стать неисправность электроинструмента. Предлагаются следующие меры управления рисками: защитное заземление оборудования, включение вопросов электробезопасности в инструктажи работников, правильный выбор электроприборов (рис. 2).



Рис. 2. Классы защиты электроприборов

Наиболее общим риском для большинства производств, неотъемлемо сопровождающим работу с ручным инструментом, является образование аэрозолей преимущественно фибриногенного действия (АПФД): при обработке материалов образуется пылевое облако, воздействующее в основном на органы дыхания работника. Управление такими рисками основано на использовании СИЗ (респираторы, защитные маски), увлажнении обрабатываемого материала, устройстве местной вентиляции в рабочей зоне.

Перечисленные профессиональные риски при работе ручным инструментом представляют собой предварительную, наиболее общую их оценку. На каждом предприятии специфика производственного процесса, несомненно, внесёт коррективы в этот анализ. Тем не менее полагаем, что приведённый анализ может быть использован сотрудниками служб охраны труда различных предприятий. На данный момент каждое предприятие, прописав в локальной документации порядок оценки и управления профессиональными рисками, может как сама провести эту процедуру, так и подключить другую организацию. Но провести оценку и управление профессиональными рисками необходимо на всех предприятиях в рамках социальной ответственности согласно вышеперечисленным нормативным документам [1–3] для снижения рисков возникновения несчастных случаев на производстве, профессиональной заболеваемости, обеспечения безопасности производства.

Список используемой литературы

1. Федеральный закон от 30 декабря 2001 года N 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации (с изменениями на 5 апреля 2021 года)» / КОДЕКС. – Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/901807664>. Дата обращения: 08.04.2021.
2. Приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 19.08.2016 г. № 438н «Об утверждении Типового положения о системе управления охраной труда» // Российская газета. – 25 октября 2016 г. – С.1-2.
3. Приказ Роструда от 21.03.2019 N 77 «Об утверждении методических рекомендаций по проверке создания и обеспечения функционирования системы управления охраной труда» / Консультант Плюс. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_322223/. Дата обращения: 08.04.2021.
4. Определение индивидуального профессионального риска / В.С. Сердюк [и др.]. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2016. – 114 с.

КОНЦЕПЦИЯ VISION ZERO В ФОРМИРОВАНИИ КУЛЬТУРЫ БЕЗОПАСНОСТИ

В.Б. Медведников, зам. ген. дир. по коммерции,

ЗАО «Модис»,

152913, Ярославская обл., г. Рыбинск, пр. Батова, 32а, тел. (4855)-26-68-21

E-mail: val_bear@mail.ru

Аннотация: В статье даётся характеристика концепции Vision Zero, история её внедрения, приводятся её основные правила. Выявляются пути присоединения к концепции Vision Zero, анализируется опыт применения концепции Vision Zero на предприятиях ГК «Росатом».

Abstract: The article describes the Vision Zero concept, the history of its implementation, and its basic rules. The ways of joining the Vision Zero concept are identified, and the experience of applying the Vision Zero concept at the enterprises of Rosatom State Corporation is analyzed.

Ключевые слова: концепция Vision Zero, «нулевой травматизм», гигиена труда, профилактика происшествий, несчастные случаи, культура безопасности.

Keywords: Vision Zero concept, "zero injuries", occupational health, accident prevention, accidents, safety culture.

Впервые о концепции Vision Zero мировая общественность услышала в 2014 г. на XX Всемирном Конгрессе по безопасности и гигиене труда в г. Франкфурте, Германия [1]. Именно тогда специалисты заговорили о возможности нулевого травматизма, т.е. безопасного труда без несчастных случаев и профессиональных заболеваний. Важность этого постулата трудно переоценить, т.к. по данным Международной ассоциации социального обеспечения [2], ежегодно умирает около 2,8 млн. чел., из них 0,38 млн. чел. из-за несчастных случаев, 2,4 млн. чел. – из-за болезней, при этом теряется 4 % мирового ВВП. Всё это – результат плохих условий труда. В отчёте той же организации за 2019 г. указано, что каждый евро, вложенный в охрану труда, возвращает доход в размере 2,2 евро [2].

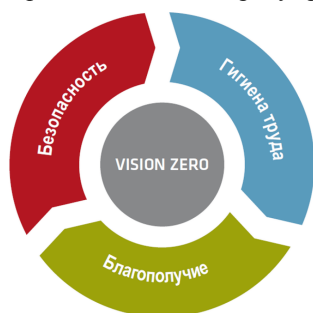


Рис. 1. Базовые основы концепции Vision Zero

Концепция Vision Zero базируется на «трёх китах» (рис. 1): все несчастные случаи, травмы и заболевания можно предотвратить; ставя во главу угла безопасность производственного процесса, можно трансформировать подход к профилактике травматизма; создаётся культура предотвращения инцидентов, которая объединяет безопасность, здоровье и благополучие на работе.

Сентябрь 2017 г. ознаменован глобальным запуском системы Vision Zero в Сингапуре на XXI Всемирном Конгрессе по безопасности и гигиене труда. Движение Vision Zero призвано реализовать следующие цели:

- обеспечить глобальную стратегию, платформу и ресурсы в поддержку Vision Zero;
- содействовать синергии между профилактическими организациями (консультанты по безопасности) во всём мире посредством совместной кампании;
- поддержать предприятия в развитии культуры профилактики происшествий на рабочем месте на основе Vision Zero.

На конгрессе присутствовала делегация из России, и в этом же году Минтруд России стал официальным партнёром глобальной кампании Vision Zero. С тех пор у России зарегистрировано самое большое представительство организаций, правительств областей, муниципальных образований и т.д. в данном движении. Однако часть государств и компаний до сих пор не поддерживают движение Vision Zero. На сентябрь 2020 г. насчитывается 13905 организаций-участников, партнёров и учебных центров. Поясним, что выделяют три типа участников (рис. 2).



Рис. 2. Распространённость участников движения Vision Zero

Это «производители» – учебные и тренинговые центры, обучающие по программам Vision Zero. Как видно, это в основном Европа и большая часть территории России; «потребители» – компании, нуждающиеся в преобразовании в сфере безопасности труда, в России их более 4 тыс.; «защитники» – консалтинговые компании, которые помогают организовывать преобразования в свете концепции Vision Zero.

Ядро концепции Vision Zero составляют семь «золотых» правил (рис. 3), которые формируют дорожную карту для предприятий, основанную на успешных практических концепциях управления. Подход Vision Zero отличается гибкостью: в зависимости от конкретных потребностей можно сосредоточиться на одном, двух, трёх или всех правилах, сосредоточиться на здоровье, безопасности или благополучии в зависимости от того, что наиболее актуально. Благодаря такой гибкости Vision Zero приносит пользу всем, правительствам и организациям в области здравоохранения и безопасности в любой стране и компаниям любого масштаба.



Рис. 3. Семь правил концепции Vision Zero

Согласно этим правилам, концепция Vision Zero является стратегией предупреждения для безопасного и здорового будущего. Первое правило предполагает, что руководитель личным примером устанавливает правила, соблюдает их сам и требует соблюдения от работников, открыт для общения и внимателен к сотрудникам. Второе правило подразумевает, что в организации проводится процедура оценки рисков, продумываются меры управления рисками до наступления несчастных случаев. Согласно третьему правилу необходимо ставить конкретные цели: например, не просто прописывать «использование СИЗ работниками», а «100 % персонала умеют правильно пользоваться СИЗ». Для выполнения четвертого правила используют чек-листы, независимый аудит, которые позволяют четко увидеть полную картину условий труда. Пятое правило говорит о необходимости принятия технических, организационных, личных мер безопасности при работе оборудования. Как показывает опыт практической деятельности, аварии чаще всего происходят при ремонте оборудования. Поэтому следует предусмотреть возможности блокировки отдельных участков при ремонте, устройства отключения и т.п. Шестое правило постулирует важность системы непрерывного образования. К каждой должности существуют свои квалификационные требования, сотрудники должны знать, что от них требуется – это обязательно для «нулевого травматизма». Согласно седьмому правилу все сотрудники вовлечены в движение Vision Zero, подают идеи, каждый заботится как о себе, так и о коллегах, и не только в рабочее время.

Присоединиться к концепции нулевого травматизма может любая организация. Для этого достаточно подать заявку на сайте движения и получить сертификат. Но, конечно, такое действие не снизит травматизм в организации до нуля, необходимо изучить «золотые» правила концепции и внедрить их в работу. На сайте приводятся конкретные примеры практической реализации правил концепции в металлургии, сельском хозяйстве, добыче полезных ископаемых, на предприятиях крупного, среднего и малого бизнеса. Членство в движении подразумевает принятие обязательств по развитию культуры Vision Zero, участие в обмене опытом. Все участники должны пройти процесс развития культуры безопасности и провести самооценку, проанализировав все технологические операции, опросив персонал по чек-листам. После этого составляют планы по улучшению условий.

Эти два этапа бесплатны для участников. Третий этап – сертификационный аудит – требует немалой оплаты (с учётом курса валюты), т.к. проводится международными экспертами в количестве 5–7 чел. В настоящее время этот этап вызывает значительные сложности, в условиях пандемии не все страны открыты для поездок, а дистанционно аудит не проводят. Если предприятие набирает 3500 баллов, предприятие получает сертификат – печать синего цвета, а при наборе 4200 баллов и более – золотую печать (рис. 4). Этот знак предприятие может разместить на сайте, что повышает инвестиционную привлекательность компании и уровень доверия к ней, особенно для международных партнёров.



Рис. 4. Знаки, подтверждающие соответствие компании принципам Vision Zero

Реализация концепции Vision Zero в Российской Федерации наиболее ярко представлена на предприятиях ГК «Росатом», где основные усилия сосредоточены на реализации цели – достичь безопасного поведения сотрудников [3]. Все рабочие места оснащены современным оборудованием, а поведение сотрудников представляет собой проблему: следует изменить отношение персонала к безопасности на рабочих местах, тем самым снизить количество несчастных случаев и негативных событий на производстве, связанных с поведением работника, или сохранение нулевого уровня для предприятий, не имеющих данных событий за последние 3 года.

Этап подготовки к реализации проекта развития культуры безопасного поведения (КБП) включает следующие мероприятия:

- интервью с генеральным директором предприятия;
- установочная сессия с топ-менеджерами;
- независимая диагностика зрелости культуры безопасного поведения персонала;
- стратегическая сессия с работниками для определения приоритетов дальнейшей деятельности;
- создание рабочих групп;
- разработка дорожной карты.

Далее осуществляется этап основной реализации проекта развития КБП, который можно представить в виде цикла: утверждение дорожной карты – реализация – самодиагностика зрелости КБП – обсуждение результатов – коррекция дорожной карты и т.д. Этот план действий можно

считать типовым и применять на предприятиях любой отрасли и любой формы собственности. Срок действия плана – около трёх лет. Начинать следует с одного-двух пилотных цехов, участков и т.п. Единственным ограничением при выборе пилотного участка является то, что руководитель должен быть вовлечён в изменения, стать лидером по развитию культуры безопасности (рис. 5).

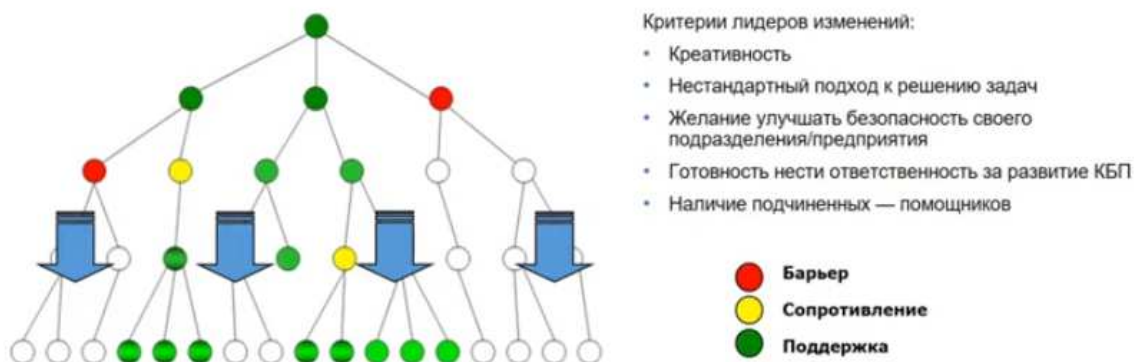


Рис. 5. Динамика поведения руководителей

В качестве пилотных участков выбирались участки с «зелёными» руководителями. К руководителям красного и жёлтого уровня направлялось больше усилий по обучению и развитию.

В настоящее время ГК «Росатом» является лидером движения Vision Zero в Российской Федерации. За 2020 г. проводились работы на 9 пилотных предприятиях, обучено около 2000 работников.

Формирование развитой культуры безопасности – кропотливый и ответственный процесс. Бесспорно, его успешность зависит от применяемых инструментов, от способа внедрения различных практик и всегда лежит на плечах руководителей всех уровней.

Список используемых источников:

1. XX World Congress for Safety and Health at Work [Электронный ресурс] / Vision Zero. – Режим доступа <https://visionzero.global/ru/node/272>. Дата обращения: 08.04.2021.
2. Final Report 2019 [Электронный ресурс] / International Social Security Association. – Режим доступа: <https://ww1.issa.int/>. Дата обращения: 08.04.2021.
3. Быстров К.А. Росатом снижает травматизм [Электронный ресурс] /К.А. Быстров, Е.В. Шембель // Страна Росатом. – 20 мая 2019 г. – Режим доступа: <https://strana-rosatom.ru/2019/05/20>. Дата обращения: 08.04.2021.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ НАНОДИСПЕРСНЫХ ПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ НА ДЕСТРУКЦИЮ МОТОРНОГО МАСЛА

Т.А. Задорожная, к.т.н., доц., О.Б. Назаренко^а, д.т.н., проф., Н.Н. Соловьев, студ.

Томский политехнический университет

634050, г. Томск пр. Ленина 30, тел. (3822)-70-17-77 вн. 1916

E-mail: ^аolganaz@tpu.ru

Аннотация: Моторное масло в процессе эксплуатации претерпевает изменения, приводящие к ухудшению его свойств. Одним из способов улучшения свойств моторных масел является введение в них нанодисперсных металлов. Для исследования влияния нанопорошков металлов на процесс деструкции масла при нагревании и его старение в данной работе использовали метод термического анализа. Установлено, что присутствие нанопорошка алюминия в масле привело к снижению деструкции моторного масла, в то время как нанопорошок железа вызвал существенное ускорение деструкции.

Abstract: Motor oil undergoes changes during operation, leading to deterioration in its properties. One of the ways to improve the properties of motor oils is the introduction of nanodispersed metals into them. To study the effect of metal nanopowders on the process of oil destruction upon heating, the method of thermal analysis was used in this work. It was found that the presence of aluminum nanopowder in the oil led to a decrease in the destruction of motor oil, while the iron nanopowder caused a significant acceleration of the destruction.

Ключевые слова: моторное масло, нанопорошки металлов, термический анализ, деструкция

Keyword: motor oil, metal nanopowders, thermal analysis, destruction

При работе в двигателе происходит процесс старения моторного масла, которое претерпевает существенные изменения в своем составе и свойствах. Старение масла вызвано его взаимодействием с газообразными, жидкими и твердыми продуктами загрязнения, таким как продукты неполного сгорания топлива, износа деталей двигателя, атмосферная пыль, охлаждающая жидкость и т. д. Кроме того, масло в условиях эксплуатации подвергается воздействию высоких температур, интенсивно окисляется, испаряется, полимеризуется и коксует. Продукты, образующиеся в результате всех этих процессов, накапливаются в моторном масле и приводят к значительному ухудшению его свойств.

К показателям или диагностическим параметрам, с помощью которых можно оценить степень старения моторного масла и состояние двигателя, относятся температура вспышки и содержание продуктов износа в отработанном масле – железа, меди и других металлов.

Температура вспышки – это показатель, который характеризует наличие в масле легкокипящих фракций, связанный с испаряемостью масла в процессе эксплуатации. Как правило, хорошие масла имеют температуру вспышки более 225 С. Недостаточно качественные масла имеют в своем составе маловязкие фракции, которые быстро испаряются и выгорают, а это приводит к большому расходу масла и ухудшению его низкотемпературных свойств. Снижение температуры вспышки масла под влиянием примесей может с высокой вероятностью привести к пожару.

Содержание продуктов износа в масле. Изнашивание большинства приработанных пар трения в двигателях при нормальной эксплуатации носит линейный характер. При возникновении дефекта в паре трения, связанного с ее усиленным износом, интенсивность изнашивания, а также количественное содержание в масле металлов, характерных для данной пары, резко увеличивается. Элементами-индикаторами, характеризующими состояние деталей двигателей, являются:

- железо, характеризующее износ гильз цилиндров, шеек коленчатого вала, подшипников качения, зубьев шестерен и др.;
- алюминий, наличие которого в масле свидетельствует об износе поршня, антифрикционного слоя подшипников скольжения, попадании пыли из воздуха;
- медь, образующаяся в результате износа и выкрашивания подшипников скольжения;
- другие продукты разложения металлосодержащих присадок.

Ряд исследований посвящен проблеме старения масла в процессе эксплуатации, в том числе показано, что температура вспышки масел снижается при старении. Работы по улучшению эксплуатационных свойств масел направлены на исследование качества моторного масла с целью уменьшения износа деталей машин. Для этого в моторные масла добавляют различные присадки, в том числе нанодисперсные порошки металлов [1]. Применение нанодисперсных порошков дает ряд преимуществ по сравнению с более крупными микронными порошками. Нанопорошки имеют относительно небольшую скорость седиментации в маслах. Кроме того, нанопорошки металлов имеют склонность к спеканию, и при существенно меньших усилиях они образуют сплошные пленки. Ранее проводились исследования влияния нанопорошков металлов на износ деталей, коэффициент трения [2, 3]. Показано, что введение в масло нанопорошков металлов увеличивает значение нагрузки схватывания на различных составах, а также выявлено, что наиболее эффективным является применение нанопорошков меди. Работ по исследованию влияния нанодисперсных металлов на показатели горючести и термическую стойкость моторного масла нет.

Для исследования процессов, происходящих при старении масла, используют различные химические и физические испытания, позволяющие оценить влияние базовых компонентов смазочного материала и присадок. Быструю оценку базовых масел и добавок при сокращении количества дорогостоящих полномасштабных испытаний позволяет провести метод термического анализа [4]. В данной работе представлены результаты применения термогравиметрического анализа (ТГ) и дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) для исследования влияния нанодисперсных металлических добавок в моторное масло. ТГ измерения дают информацию о потерях веса из-за полимеризации, окисления, испарения или образования летучих соединений масла в процессе нагрева. Производные по времени этих измеренных значений важны для изучения скоростей реакции. С помощью ДСК можно определить начало реакции, а также природу и теплоту реакции. Помимо этого, комбинация с масс-спектрометрией или газовой хроматографией может дать дополнительную информацию о происходящих при нагревании реакциях.

В нашем исследовании применялись нанодисперсные порошки меди, алюминия и железа, полученные методом электрического взрыва проводников [5, 6]. Для изготовления суспензий с концентрацией нанодисперсных металлов 3 масс. % использовано моторное масло Total Evolution 700 STI 10W. Для исследования термической стойкости приготовленных образцов использовали совмещенный термоанализатор STA 449 F1 Jupiter в режиме линейного нагрева (10 °С/мин). Термический анализ проводили в атмосфере воздуха в интервале температур 20 – 800 °С. Измерение температуры вспышки будет проводиться согласно методике определения температуры вспышки в открытом тигле (ГОСТ 12.1.004-89).

Результаты термического анализа контрольного образца чистого масла Total Evolution 700 STI 10W и суспензий с нанопорошками меди, алюминия и железа представлены на рис. 1–4, соответственно.

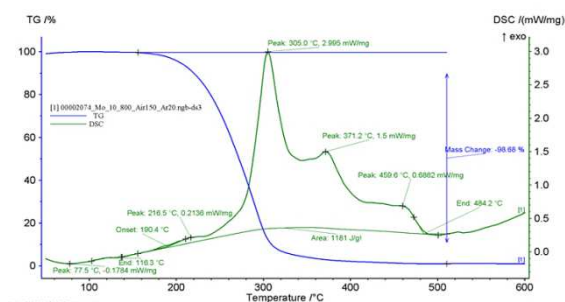


Рис. 1. Термограмма моторного масла
Total Evolution 700 STI 10W

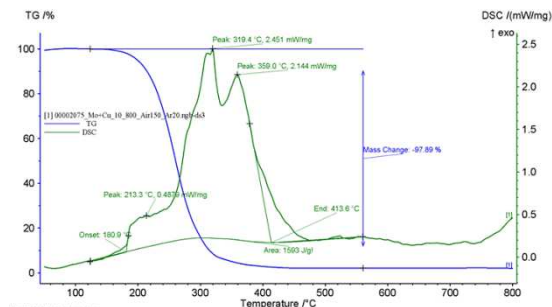


Рис. 2. Термограмма суспензии моторного
масла и нанопорошка меди

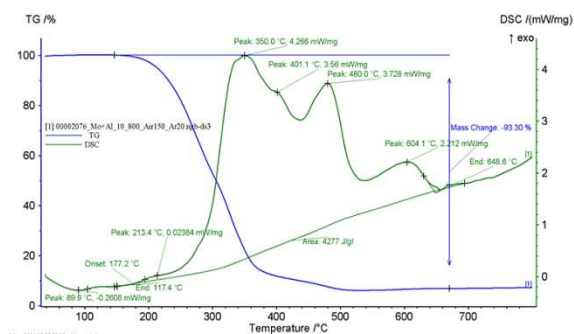


Рис. 3. Термограмма суспензии моторного масла и нанопорошка алюминия

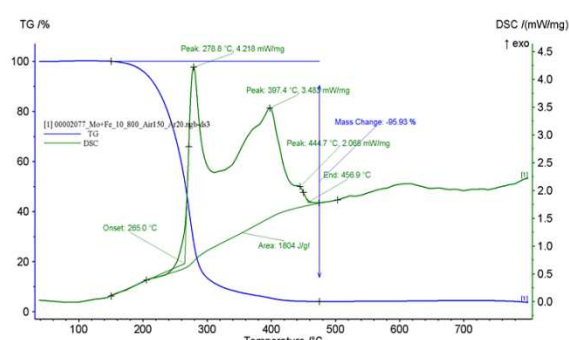


Рис. 4. Термограмма суспензии моторного масла и нанопорошка железа

Согласно данным, полученным с помощью термического анализа, деструкция моторного масла при нагревании в окислительной атмосфере воздуха представляет собой многостадийный процесс с температурой максимума первого теплового эффекта $T_{\max 1}$ 305, 319, 350 и 279 °C для чистого масла, суспензий масла и нанопорошков меди, алюминия, железа, соответственно. Таким образом, только нанопорошок железа приводит к ускорению деструкции и снижению температуры $T_{\max 1}$. Введение нанопорошка алюминия в масло привело к увеличению температуры начала деструкции T_5 на 10 °C по сравнению с чистым маслом, для которого это значение составило 202 °C. За температуру начала деструкции приняли температуру, при которой масса образца уменьшается на 5 %. Введение нанопорошка меди привело к снижению температуры начала деструкции на 4 °C, а нанопорошок железа не оказал никакого влияния на этот параметр. Температура T_{50} , при которой потеря массы составила 50 %, для образца чистого масла равна 272 °C. Введение нанопорошка алюминия привело к увеличению T_{50} на 33 °C, а нанопорошков меди и железа – к снижению на 8 и 4 °C, соответственно. Оценка скорости изменения массы образцов показала, что нанопорошок алюминия привел к замедлению процесса деструкции масла и существенному снижению максимальной скорости при нагревании, которая составила 0,62 %/°C по сравнению с 1,26 %/°C для чистого масла. Нанопорошки меди практически не изменили скорость процесса деструкции (1,24 %/°C), а нанопорошки железа привели к увеличению максимальной скорости деструкции (1,75 %/°C).

Таким образом, в данной работе проведена оценка термической стойкости и параметров термоокислительной деструкции образцов чистого моторного масла и суспензий с нанопорошками меди, алюминия, железа. Можно сделать вывод, что к существенному ускорению деструкции и снижению термической стойкости привело введение в моторное масло нанопорошков железа. Введение же нанопорошков меди не оказало существенного влияния на процесс деструкции, а нанопорошков алюминия привело к замедлению деструкции. В дальнейшей работе будет исследовано влияние нанопорошков металлов на температуру вспышки моторного масла и более детально будут изучены процессы, происходящие при термоокислительной деструкции масла.

Список используемых источников:

1. Гаркунов Д.Н. Триботехника. – М : Машиностроение, 1989. – 328 с.
2. Ильин А.П., Назаренко О.Б., Рихерт С.В. Влияние суспензии «моторное масло + смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения «углеродистая сталь – низколегированная сталь» // Известия ТПУ. – 2004. – Т. 307. – № 3. – С. 77–79.
3. Хитерхеева Н.С., Мошкин Н.И., Самбилов Д.Ж. Нано добавки в моторном масле // Знание. – 2017. – № 4-1(44). – С. 50–58.
4. Bengt O. Haglund, Per Enghag. Characterization of lubricants used in the metalworking industry by thermoanalytical methods // Thermochimica Acta. – 1996. – V. 282/283 – P. 493–499.
5. Ильин А.П., Назаренко О.Б. Проблемы совершенствования электровзрывной технологии получения нанодисперсных порошков // Известия вузов. Химия и химическая технология. – 2008. – Т. 51. – № 7. – С. 61–64.
6. Амелькович Ю.А., Назаренко О.Б., Сечин А.И. Контроль термической устойчивости нанодисперсных металлов // Контроль. Диагностика. – 2013. – № 13 (174). – С. 192–195.

ХРАНЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ В РЕЗЕРВУАРАХ ВЕРТИКАЛЬНЫХ СТАЛЬНЫХ

*А.Г. Мальчик, доцент, к.т.н., А.А. Тищук, студент группы 17Г91,
Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26,
E-mail: antishhuk09@mail.ru*

Аннотация: в данной статье приведена информация о разнообразии нефтепродуктов, резервуарах, необходимых для хранения нефтепродуктов, показаны схемы различных типов резервуаров вертикальных стальных, и в соответствии с нормативным документом приведены условия хранения нефти и нефтепродуктов в данных резервуарах.

Abstract: This article provides information about the variety of petroleum products, tanks required for the storage of petroleum products, shows the schemes of various types of vertical steel tanks, and in accordance with the regulatory document, the conditions for storing oil and petroleum products in these tanks are given.

Ключевые слова: нефтепродукты, хранение, резервуар вертикальный стальной.

Keyword: petroleum products, storage, vertical steel tank

Нефтяная промышленность представляет собой деятельность, связанную с добычей, переработкой и хранением нефти и нефтепродуктов. Особая роль хранения нефти и нефтепродуктов обусловлена тем, что именно от условий, в которых хранятся нефтепродукты зависит их сохранность в качестве и количестве на протяжении длительного времени. Нарушение условий хранения может привести к возникновению потери определенных свойств данного сырья, и к экономической проблеме, такой как снижение в цене.

По составу нефтепродукты бывают разные, их основу составляют разнообразные смеси углеводородов, получаемых из нефти и ее газов. Нефтепродукты, как правило, являются тем или иным видом топлива, например, различные бензины, топливные сжиженные газы, дизельные топлива, печное бытовое топливо, нефтяное топливо (мазут, моторное топливо, сланцевое масло) и т.д.

Процесс хранения нефти и нефтепродуктов не редко может сопровождаться с другими техническими процессами нефтяной промышленности, такими как:

обессоливание нефти;

- обезвоживание;
- подогрев;
- смешение нефтепродуктов.



Рис. 1. Нефтехранилище

стоящие из стали, так как благодаря своему внутреннему антикоррозийному покрытию они менее подвержены различного рода повреждениям и тем самым обеспечивают долговечность и сохранность нефтепродуктов.

Железобетонные резервуары в основном используются для хранения вязких и застывающих нефтепродуктов (мазуты, битумы и т.д.).

Синтетические резервуары часто используются для временного хранения нефти и нефтепродуктов, благодаря своей компактности, а также быстрому и простому способу установки и демонтажа.

По месту расположения резервуары различают надземные, подземные, полуподземные и подводные. На рисунке 2 показаны типы резервуаров по месту расположения.

Для хранения нефти и нефтепродуктов в больших количествах используются специальные нефтяные хранилища. Такие нефтехранилища оборудованы специальными резервуарами, в которых располагаются нефтепродукты. На рисунке 1 показано нефтехранилище с резервуарами.

Материал, из которого состоит резервуар может быть разный. Различают три типа материалов, из которых может состоять резервуар. Таким образом, резервуары можно классифицировать на металлические, железобетонные и синтетические.

Промышленные нефтяные предприятия чаще всего используют металлические резервуары, со-

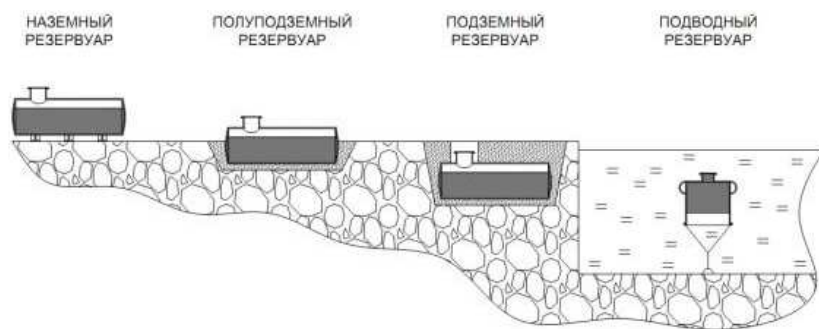


Рис. 2. Типы резервуаров по месту расположения

По форме конструкции резервуары классифицируют на цилиндрические, сферические и каплевидные. На рисунке 3 показаны типы резервуаров по форме конструкций.



Рис. 3. Типы резервуаров по форме конструкций

Как правило, на нефтехранилищах, более распространены резервуары вертикальные цилиндрические стальные. Данные резервуары предназначены для хранения нефти и нефтепродуктов, объем таких резервуаров находится в диапазоне от 100 до 120 000 м³. При конструировании резервуара, обязательно предполагается полная изоляция от внешней среды. Наличие стен, дна и крыши предотвращает количественные потери нефтепродуктов. В зависимости от конструкции крыши резервуары бывают следующих типов:

- резервуар со стационарной крышей без понтона (РВС);
- резервуар со стационарной крышей с понтоном (РВСП);
- резервуар с плавающей крышей (РВСПК).

На рисунке 4 представлены схематические изображения данных резервуаров.

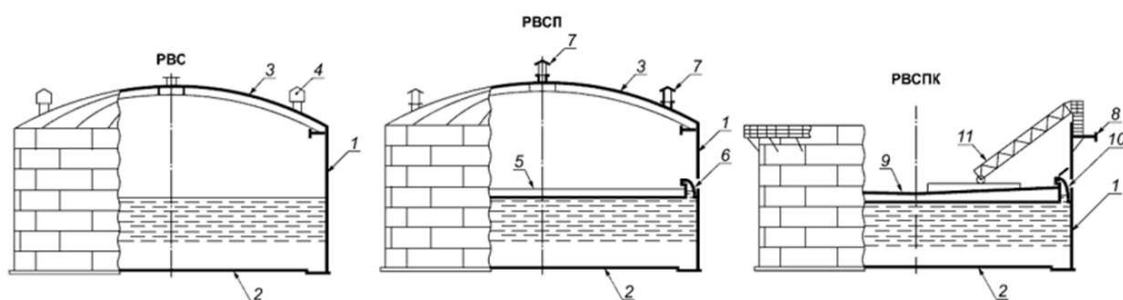


Рис. 4. Типы резервуаров вертикальных цилиндрических стальных

На данном рисунке схема конструкций резервуаров, где:

1. стенка;
2. днище;
3. стационарная крыша;
4. дыхательный клапан;
5. понтон;

6. уплотняющий затвор;
7. вентиляционный проем;
8. ветровое кольцо;
9. плавающая крыша;
10. уплотняющий затвор с погодозащитным козырьком;
11. катучая лестница.

Крыша является важнейшим конструктивным элементом резервуара, так как вид крыши зависит от того, какой нефтепродукт хранится в данном резервуаре. Например, хранение автомобильного бензина и нефти требует наличие плавающей крыши у данного резервуара, а хранение авиационного бензина наоборот не допускается в таком резервуаре.

Условия, в которых хранятся нефть и нефтепродукты, должны строго соответствовать ГОСТу 1510-84.

Выбор резервуара для хранения, в зависимости от характеристик и свойств нефтепродукта, должен быть обоснован технико-экономическими расчетами, так как хранение определенного вида сырья предполагает определенный резервуар. Поэтому, в зависимости от марки и сорта, каждый нефтепродукт должен храниться в специализированном для этого продукта, герметичном резервуаре.

Для нефтебаз, наливных и перекачивающих станций необходимо составление технологической карты, с указаниями всех элементов данного объекта. Также технологическая карта должна содержать все изменения, произведенные в резервуарах.

Наличие подтоварной воды в резервуарах не должно превышать минимальный уровень, необходимого для дренажа воды.

Для избегания потерь от испарения нефтепродуктов в резервуаре, помимо герметичной крыши, также необходимо: постоянное давление, максимальное заполнение при хранении легко испаряющихся нефтепродуктов, светлый окрас наружной поверхности резервуара, применение теплоизоляции поверхности резервуара.

При смене сортов нефтепродуктов в резервуаре подготовка к заполнению должна также строго соответствовать данному нормативному документу.

Таким образом, следует вывод, что процесс хранения нефтепродуктов в резервуарах является важным технологическим процессом нефтяной промышленности, предполагающим соблюдение определенных правил по условиям хранения, в соответствии с определенным нормативным документом. Также конструкция резервуара предполагает присутствие определенных элементов в зависимости от условий, в которых должен храниться нефтепродукт.

Список используемых источников:

1. ГОСТ 1510-84 «Нефть и нефтепродукты. Маркировка, упаковка, транспортирование и хранение».
2. ГОСТ 31385-2016 «Резервуары вертикальные цилиндрические для хранения нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия».
3. Хранение нефти и нефтепродуктов: правила хранения и отпуска [Электронный ресурс] / – Портал о нефти – Режим доступа: <https://asuneft.ru/>. Дата обращения: 15.04.2021.

МЕТОДИКА РАСЧЕТА СИЛ И СРЕДСТВ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ДОРОЖНО-ТРАНСПОРТНОГО ПРОИСШЕСТВИЯ

П.В. Родионов, к. пед. н. ст. преподаватель, К.В. Черная, Б.Д. Байзакова, студенты гр. 17Г91

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-7-77-64)

E-mail: rodik-1972@yandex.ru

Аннотация: В статье повествуется о планировании и организации проведения аварийно-спасательных работ и других неотложных работ при ликвидации дорожно-транспортного происшествия. Приведены элементы методики расчета сил и средств при проведении работ по деблокированию оказанию первой помощи и эвакуации пострадавших в лечебные учреждения. Также в статье приведены статистические данные о чрезвычайных ситуациях техногенного характера с тяжкими последствиями на транспорте в 2019 году.

Abstract: The article tells about the planning and organization of emergency rescue operations and other urgent work in the elimination of a road traffic accident. The elements of the methodology for calculating the forces and means during the work on unblocking the provision of first aid and the evacuation of victims to medical institutions are given. The article also provides statistical data on man-made emergencies with grave consequences on transport in 2019.

Ключевые слова: Транспорт, дорожно-транспортное происшествие, тягач, чрезвычайная ситуация, методика расчета, ликвидация.

Keywords: Transport, road traffic accident, tractor, emergency, calculation method, liquidation.

В настоящее время не удается полностью избежать чрезвычайных ситуаций (далее – ЧС) на автомобильном транспорте России и других стран. Дорожно-транспортные происшествия наносят не только материальный ущерб владельцам автомобилей и транспортных компаний, но и очень часто приводят к травмированию и гибели водителей, пассажиров и пешеходов.

По официальным данным МЧС России в 2019 году в Российской Федерации произошло 202 чрезвычайных ситуаций различного класса, в результате которых погибло – 498 чел., пострадало – 2532 чел. По причинам возникновения чрезвычайных ситуаций в 2019 году преобладали происшествия, связанные с дорожно-транспортными последствиями, авиационными катастрофами и взрывами в жилых и производственных помещениях. По официальным данным Министерства внутренних дел России, в результате дорожно-транспортных происшествий (далее – ДТП) в 2019 году гибель людей составила 16,9 тысяч человек, в том числе около 4,9 тысяч пешеходов. Также в процессе ДТП с участием автомобильного транспорта получили травмы разной степени тяжести 210,8 тысяч человек, из них 45,9 тысяч – пешеходы.

В связи с этим для планирования и организации работ по ликвидации ДТП с участием автомобильного транспорта необходима методика расчета сил и средств территориальной и функциональной подсистем на проведение таких аварийно-спасательных работ. На данный момент не определены и не разработаны единые методики по расчету сил и средств по ликвидации ДТП и в основном расчет сил и средств по ликвидации ДТП проводится по статистическим данным.

Основные вопросы и элементы расчетов сил и средств на ликвидацию ДТП разработанной методики будут освещены на фоне нижеописанной модели.

В городе Новокузнецке по улице Транспортная 103-а по направлению движения в сторону вокзала, произошло крупное дорожно-транспортное происшествие с участием 8-ми транспортных средств. ДТП произошло 11 марта в 8.30 утра. По предварительным данным в ДТП: 12 пострадавших, из них – 8 пострадавших оказались заблокированы, 4 из них находятся в тяжелом состоянии. Так же в результате произошло повреждение цистерны бензовоза с розливом бензина, возгорания не произошло. Температура воздуха: -9°C , влажность воздуха 67%, скорость ветра 4 м/с. Роза ветров показывает, что основное направление ветра северо-восточное. Видимость 20 км, ясно. Время проведения спасательных работ 4 часа.

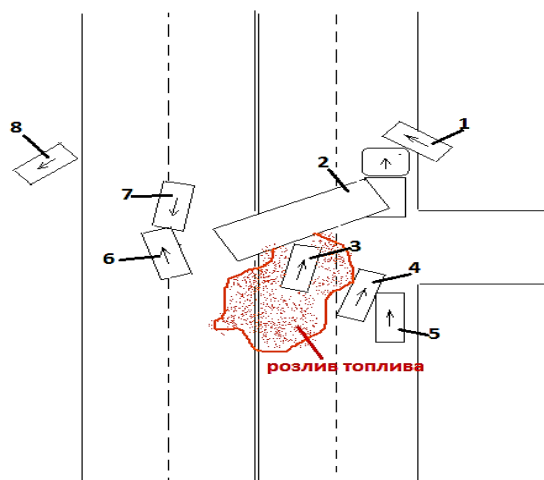


Рис. 1. Схема ДТП. 1 – Ваз 2106; 2 – бензовоз MAN, общий объем цистерны 23380л, объем дизельного топлива 7830л.; 3 – Toyota Land Cruiser 100; 4 – Reno Logan; 5 – Toyota Corolla; 6 – Reno Duster; 7 – Ваз 2114; 8 – Nissan March.

Расчет сил и средств ликвидации ДТП проводится исходя из объема выполняемых работ и тактико-технических характеристик имеющихся сил и средств, а также необходимого времени на ликвидацию чрезвычайной ситуации с учетом деблокирования пострадавших из транспортных средств, проведения мероприятий по оказанию первой помощи, эвакуации пострадавших в лечебные учреждения, эвакуации поврежденных транспортных средств и снижения неблагоприятных последствий для окружающей среды.

Первый, прибывший на место ДТП, руководитель одного из подразделений сил спасения или сотрудник ГИБДД принимает на себя полномочия руководителя ликвидации последствий ДТП и исполняет их до прибытия назначенной комиссии по чрезвычайным ситуациям руководителя ликвидации последствий ДТП. Руководитель ликвидации ДТП обязан:

- произвести разведку и оценить обстановку на месте немедленно организовать спасение людей, предотвратить панику, используя для этого имеющиеся силы и средства;
- определить решающее направление, необходимые силы и средства, способы и приемы действий;
- поставить задачи подразделениям (службам), обеспечить выполнение поставленных задач;
- непрерывно следить за изменением обстановки, принимать соответствующие решения;
- по прибытии к месту ДТП передать информацию на центральный узел связи города (зоны) или пункт связи подразделения МЧС России.

В процессе мероприятий ликвидации ДТП на автомобильном транспорте зона ЧС происходит деление места выполнения аварийно-спасательных работ на 3 зоны. В зоне №1 (в радиусе 5 метров) проводят работы только спасатели и медицинские работники, выполняющие работы по оказанию помощи пострадавшим. В зоне №2 (в радиусе 10 метров) располагаются остальные члены спасательной группы, которые обеспечивают готовность аварийно-спасательных средств к применению. В третьей зоне (в радиусе более 10 метров) находятся средства доставки спасателей к месту ДТП, средства освещения и ограждения, части аварийного ТС, другие средства ликвидации ЧС (тягачи, автобусы, трактора, пожарные автомобили и т.п.).

Для предотвращения возгорания разлитого топлива необходимо произвести расчет средств и сил для локализации возможного возгорания дизельного топлива и ликвидации его утечки на месте ДТП. Для этого необходимо рассчитать количество пенных стволов или генераторов для площади разлива – 145 м².

$$N_{\text{ГПС(СВП)}} = Q_{\text{тр}}^{\text{р-р}} / Q_{\text{ГПС(СВП)}}^{\text{р-р}} = S_{\text{п}} \cdot I_{\text{тр}}^{\text{р-р}} / Q_{\text{ГПС(СВП)}}^{\text{р-р}}, \quad (1)$$

где: $N_{\text{ГПС(СВП)}}$ – количество пенных стволов и генераторов, необходимых для тушения, (ед.);

$Q_{\text{тр}}^{\text{р-р}}$ – требуемый расход раствора пенообразователя для тушения пожара (л/с);

$Q_{\text{ГПС(СВП)}}^{\text{р-р}}$ – расход раствора из пенного ствола или генератора (л/с);

$S_{\text{п}}$ – площадь пожара (м²);

$I_{\text{тр}}^{\text{р-р}}$ – требуемая интенсивность подачи раствора пенообразователя для тушения пожара (л/с·м²).

Интенсивность подачи раствора равна 0,08 л/с·м², так как это легковоспламеняющаяся жидкость.

$$N_{\text{ГПС}} = 145 \cdot \frac{0,08}{6} = 1,93 = 2 \text{ ГПС-600}$$

ГПС-600 – генератор пенный средней кратностью, производительностью 600 л. пены/мин.

В случае возможного возгорания необходимо подать один водяной ствол СРК-50 на охлаждение цистерны бензовоза для предотвращения кипения легковоспламеняющейся жидкости. По полученным данным определяется количество пожарных расчетов и численность личного состава исходя из численного состава расчетов пожарных автомобилей. Локализации разлива потребует два пожарных расчета с численностью 10 человек.

Далее проводится расчет требуемого количества пенообразователя для тушения возможного пожара определяется по формуле:

$$W_{\text{по}} = N_{\text{ГПС}} \cdot q_{\text{ГПС}} \cdot \tau_{\text{н}} \cdot 60 \cdot k, \quad (2)$$

где: $N_{\text{ГПС}}$ – количество генераторов пены;

$q_{ггс}$ – расход пенообразователя через генератор (л/с);
 τ_n – нормативное время тушения пожара – принимается равным 15 мин;
 k – коэффициент запаса, равен 3.

$$W_{по} = 1,93 \cdot 10 \cdot 15 \cdot 60 \cdot 3 = 35910 \text{ л.}$$

$$600 \text{ л/мин} = 10 \text{ л/с.}$$

Для ликвидации пятна разлива потребуется одно отделение службы экологической безопасности в количестве 5 человек и 1 единица техники.

Количество отделений поисково-спасательной службы для деблокирования пострадавших и оказания им первой помощи – 3 группы по пять спасателей (15 человек).

$$N_{псс} = Q_{постр}/K, \quad (3)$$

где $Q_{постр}$ – количество пострадавших, которых необходимо деблокировать;

K – оптимальные возможности одного отделения ПСС по деблокированию пострадавших (принимается равным 2 человека).

$$N_{псс} = 9/2 = 4 \text{ отд. ПСС (15 человек личного состава).}$$

Потребуется 4 экипажа ГИБДД (8 человек) для регулирования дорожного движения, фиксации ДТП, оказания помощи пострадавшим, организации освобождения проездной части и места подъезда аварийно-спасательных служб, скорой помощи и других вспомогательных служб. Количество экипажей ГИБДД принимается из расчета выполняемых задач (1 задача – один экипаж).

Также потребуется расчет сил и средств медицинской службы: количество единиц медицинских средств и численности медицинских работников для оказания медицинской помощи и проведения эвакуации пострадавших. В результате расчетов выяснилось, что для медицинских целей требуется 8 единиц техники с медицинскими работниками для оказания помощи пострадавшим в ДТП (17 чел.). Расчет проводится исходя из данных по тяжести травм пострадавших и характеристик медицинских средств (численность врачей, санитаров, водителей и т.п.). Так как в ДТП 8 человек получили тяжелые травмы и нуждаются в госпитализации, потребуется 6 бригад скорой медицинской помощи и 2 бригады для оказания медицинской помощи на месте ДТП в случае ухудшения состояния пострадавших и получения травм спасателями.

Количество вспомогательной техники для помощи в проведении АСР и освобождения проездной части, а также эвакуации неисправной техники определяется по количеству и размерам неисправной техники и характеристик средств эвакуации. В нашем случае необходимо: 3 средних эвакуатора для эвакуации легковых автомобилей (водительский состав – 3 чел.) и 2 тяжелых тягача (трактора) для эвакуации грузовых автомобилей (водительский состав – 2 чел.).

Далее по представленной методике проводится расчет численности личного состава для проведения обеспечения общественного порядка, материально-технического обеспечения, расчет необходимой техники, привлекаемой для проведения восстановительных работ по дорожному полотну и т.д.

Заключение

Для четких и слаженных действий сил и средств по предупреждению и ликвидации ЧС всех уровней необходимо грамотное и своевременное планирование их действий органами управления системы РСЧС. Существующие и вновь разработанные методики расчета сил и средств предупреждения и ликвидации ЧС и их грамотное применение является важным аспектом при планировании и организации поисковых и аварийно-спасательных работ.

Список используемых источников:

1. Статистика ДТП в России [Электронный ресурс] / Статистика ДТП в России за 7 месяцев. – <http://www.1gai.ru/autonews/523244-statistika-dtp-v-rossii-za-7-mesjacev-2019-goda.html>. Дата обращения: 30.03.2021 г.
2. Планирование действий по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и мероприятий гражданской обороны. Рекомендации / Под редакцией В. А. Пучкова. – М.: ФГУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2004. – 56 с.
3. Михно Е.П. Проведение аварийно-спасательных работ. – М.: Энергоатомиздат, 1979. – 204 с.
4. Защита от чрезвычайных ситуаций: Сборник метод. разработок. – М.: ООО «ИЦ-Редакция «Военные знания», 2002. – 160с.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ

- | | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Абишев К.К. 11 | Собачкин А.В. 35 |
| Акимов К.О. 62 | Соловьев Н.Н. 156 |
| Байзакова Ы.Д. 131, 161 | Сташенко В.И. 21, 26, 50 |
| Барсков В.В. 80 | Тарасов С.Ю. 59 |
| Бегляков В.Ю. 93, 117 | Телипенко Е.В. 105 |
| Богомоллов К.О. 133 | Теслева Е.П. 41 |
| Бычков О.А. 137 | Теслев С.А. 41 |
| Гнюсов С.Ф. 38, 59 | Тищук А.А. 159 |
| Горборуков А.А. 140 | Троицкий О.А. 21, 26, 50 |
| Девойно О.Г. 9 | Турсунов И.Ф. 67 |
| Деменкова Л.Г. 140, 143, 150 | Федин Е.А. 38, 59 |
| Досумкулов Д.У. 41 | Филиппов А.В. 45 |
| Дубровский А.С. 62 | Химич М.А. 6 |
| Епифанцев К.В. | Хорошко Е.С. 45 |
| Епифанцев К.В. 100, 97 | Черная К.В. 161 |
| Задорожная Т.А. 156 | Чернышева Т.Ю. 111 |
| Ибрагимов Е.А. 6 | Чинахов Д.А. 62 |
| Иващенко С. 100 | Шамарин Н.Н. 45 |
| Ильященко Д.П. 62 | Шаркеев Ю.П. 6 |
| Казанцев А.А. 93 | Яковлев В.И. 14 |
| Калинкин Д.С. 146 | |
| Касенов А.Ж. 11 | |
| Колегова О.А. 77 | |
| Коперчук А.В. 117 | |
| Кораблев Д.Д. 146 | |
| Котов В.С. 80, 85, 89 | |
| Кривошеев А.А. 146 | |
| Кузнецов М.А. 67 | |
| Кучумов В.О. 150 | |
| Луцкович З.М. 9 | |
| Мальчик А.Г. 159 | |
| Мандров Б.И. 65 | |
| Матанский Е.И. 105 | |
| Медведников В.Б. 152 | |
| Муканов Р.Б. 11 | |
| Мясников А.Ю. 35 | |
| Назаренко О.Б. 156 | |
| Нестерук Д.Н. 93 | |
| Никифоров А.Е. 80 | |
| Новикова А.Л. 115 | |
| Осипов Р.С. 117 | |
| Ощепкова А.А. 65 | |
| Пакин И.И. 85, 89 | |
| Пилипчук А.П. 9 | |
| Пинаев В.Г. 47, 55 | |
| Попов А.А. 14 | |
| Разумников С.В. 72 | |
| Родионов П.В. 131, 133, 161 | |
| Русин Н.М. 17, 31 | |
| Сапрыкин А.А. 6 | |
| Сапрыкин Н.А. 6 | |
| Ситников А.А. 14, 35 | |
| Скворцов О.Б. 120, 126, 21, 26, 50 | |
| Скоренцев А.Л. 17, 31 | |
| Скроботов А.А. 111 | |

Научное издание

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Сборник трудов
XII Международной научно-практической конференции

**Редакционная коллегия предупреждает, что за содержание
представленной информации ответственность несут авторы**

Компьютерная верстка и дизайн обложки
Э.Ф. Кусова

**Зарегистрировано в Издательстве ТПУ
Размещено на корпоративном портале ТПУ
в полном соответствии с качеством предоставленного оригинал-макета**



Издательство

ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ